

**ZESZYTY NAUKOWE
UNIwersYTETU ZIELONOGÓRSKIEGO
NR 138**

INŻYNIERIA ŚRODOWISKA – 18

ZIELONA GÓRA • 2010

REDAKCJA ZESZYTU NAUKOWEGO:

dr hab. inż. Andrzej Greinert, prof. nadzw. (*Redaktor Naczelny*)

dr hab. Urszula Kołodziejczyk, prof. nadzw.

RADA WYDAWNICZA:

dr hab. Krzysztof Urbanowski, prof. UZ (*Przewodniczący*),

mgr Ryszard Błazyński (*Sekretarz*),

Członkowie: prof. zw. dr hab. inż. Marian Adamski; dr Rafał Ciesielski;

dr hab. inż. Michał Drab, prof. UZ; prof. zw. dr hab., Andrzej Maciejewski;

dr hab. inż. Maria Fic, prof. UZ; prof. nzw. dr hab. Beata Gabryś;

dr hab. Bohdan Halczak, prof. UZ; prof. zw. dr hab. Janusz Matkowski;

dr hab. inż. Anna Walicka, prof. UZ; dr hab. Zdzisław Wołk, prof. UZ

Wydano za zgodą J.M. Rektora Uniwersytetu Zielonogórskiego

ISSN 1895-7323

Skład komputerowy: dr hab. inż. Andrzej Greinert, prof. nadzw.

Wydanie Zeszytu współfinansowała:



PGE KWB Bełchatów S.A.

Copyright © by Oficyna Wydawnicza Uniwersytetu Zielonogórskiego, Zielona Góra 2010

SPIS TREŚCI

KATARZYNA SZOPKA, <u>ADAM BOGDA</u> , ANNA KARCZEWSKA, BERNARD GAŁKA, MARTA WOJTKOWIAK, DANIEL PRUCHNIEWICZ – Właściwości odpadów na hałdach górniczych węgla kamiennego w Nowej Rudzie w aspekcie ich biologicznej rekultywacji.....	5
MIRANDA PTAK – Obszary Natura 2000 a złoża węgla brunatnego w Dorzeczu Odry.....	12
MAGDA HUDAK – Wpływ rodzaju gruntu na warunki eksploatacji wód podziemnych.....	23
ARKADIUSZ ROJNA DARIA BŁASZCZYK – Badanie współczynnika filtracji gruntów.....	32
ANNA NOWAK, SZYMON MODRZEJEWSKI – Ogólna charakterystyka stanu zagospodarowania przestrzennego oraz uwarunkowań środowiskowych w rejonie złoża węgla brunatnego Gubin	39
BARBARA WALCZAK – Substancje ropopochodne w pyłe drogowym w Zielonej Górze	50
MARLENA PIONTEK, KATARZYNA BEDNAR – Biodeteriogenne grzyby w kopalniach węgla kamiennego.....	57
GRZEGORZ WACHOWIAK, MAŁGORZATA KĘPIŃSKA-KASPRZAK – Przyczyny zmian w odpływie rzeczonym na obszarach objętych wpływem eksploatacji węgla brunatnego	65
MARCIN CHODAK, ANNA SZCZĘCH – Zastosowanie spektroskopii NIR do oznaczania zawartości C i N w glebach przemysłowych	73
URSZULA KOŁODZIEJCZYK – Zastosowanie mat bentonitowych w modernizacji wałów przeciwpowodziowych.....	82
BARBARA BIELOWICZ – Wybrane pierwiastki szkodliwe w węglu brunatnym ze złoża „Gubin”	92
LESZEK JURDZIAK, JUSTYNA WOŹNIAK – Zmienność przepływów pieniężnych jako miara ryzyka produkcji energii z węgla brunatnego.....	102
IRENEUSZ NOWOGOŃSKI, KRZYSZTOF BANAŚ – Wpływ czasoprzestrzennej zmienności opadu na wielkość odpływu ze zlewni modelowych	112
RAFAŁ PAŹIK – Budowa, koszty i eksploatacja domu pasywnego	125
RÓŻA FRUZIŃSKA – Właściwości fizyczno-chemiczne gleb terenu przemysłu metalowego.....	146

**KATARZYNA SZOPKA, ADAM BOGDA,
ANNA KARCZEWSKA, BERNARD GAŁKA,
MARTA WOJTKOWIAK, DANIEL PRUCHNIEWICZ***

WŁAŚCIWOŚCI ODPADÓW NA HAŁDACH GÓRNICZYCH WĘGLA KAMIENNEGO W NOWEJ RUDZIE W ASPEKCIE ICH BIOLOGICZNEJ REKULTYWACJI

Streszczenie

Badano właściwości nieprzepalonego materiału odpadowego na hałdzie KWK Piast w Nowej Rudzie. Materiał wykazywał zbliżone właściwości w różnych częściach hałdy. Charakteryzował się dużą szkieletowością, znacznym udziałem węgla i obojętnym lub alkalicznym odczynem. Zasolenie mieściło się w klasie 0. Zawartości Pb, Zn i Cu były niskie. Nie stwierdzono istnienia czynników niekorzystnych dla rekultywacji.

Słowa kluczowe: hałdy, węgiel kamienny, rekultywacja, gleba

Wstęp

Eksploatację węgla w Dolnośląskim Zagłębiu Węglowym zakończono na przełomie XX i XXI w., między innymi ze względów ekonomicznych oraz geologicznych [Karczevska 2008]. Zagłębie obejmowało dwa rejonów górniczych: Wałbrzych i Kamienna Góra. W rejonach tych pozostały zwały odpadów górniczych, głównie o stożkowym, groblowym lub nieregularnym kształcie i o stromych skarpach. Zwały takie są trudne do rekultywacji. Skałę płonną tworzą łupki ilaste i ilowce, mułowce, piaskowce oraz domieszki węgla. Ważnym składnikiem jest piryt FeS_2 , którego utlenianie prowadzi zazwyczaj do zakwaszenia i zasolenia odpadów oraz zainicjowania aktywności termicznej. Hałdy mogą pozostawać aktywne termicznie przez wiele miesięcy [Lottermoser 2003].

Rekultywację zwałów nie przepalonych podejmuje się po częściowym rozładowaniu powierzchniowej warstwy materiału, po upływie kilku miesięcy lub lat od uformowania hałdy. W tym czasie odczyn materiału zwykle zmienia się od

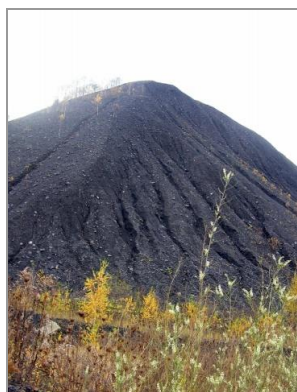
* Uniwersytet Przyrodniczy we Wrocławiu, Instytut Nauk o Glebie i Ochrony Środowiska

obojętnego w kwaśny, a następnie ulega powolnej neutralizacji. Zasolenie wzrasta, a następnie zmniejsza się wskutek ługowania rozpuszczalnych soli. Rekultywacja biologiczna hałd jest najłatwiejsza, jeśli skała płonna pokryta zostanie warstwą gruntu potencjalnie produktywnego. Jednak wobec braku takiego materiału, można zastosować metodę nasadzeń w dolki lub sadzić drzewa bezpośrednio w grunt, zgodnie z modelem PAN [Strzyszc 1989]. Czynnikiem ograniczającym wzrost roślin może być niedostateczna zasobność gruntu w składniki pokarmowe, w tym w przyswajalny azot.

Celem niniejszej pracy było określenie właściwości materiału zdeponowanego na jednej z hałd rejonu noworudzkiego, hałdzie zlikwidowanej KWK Piast.

Obiekt badań

Hałda Piast, o powierzchni 14 ha i wysokości 60-110 m, charakteryzuje się nieregularnym kształtem, dużym nachyleniem skarp: 35-45° (fot. 1) oraz aktywnością termiczną, która przejawiała się trwającymi wiele lat intensywnymi procesami termicznymi, zakończonymi w roku 2006, dzięki zastosowaniu prac wygaszających [Poniński 2006, Drenda i in. 2007]. W latach 90. w dolnej części zwału oraz na fragmentach skarp prowadzono zabiegi rekultywacyjne, jednak kompleksową rekultywację można było projektować dopiero po zlikwidowaniu termicznej aktywności hałdy [Błaszke i in. 2002, Poniński 2006]. Lokalnie, w drodze samoistnej sukcesji stwierdzono wkraczanie na powierzchnię hałdy roślin, zwłaszcza roślin zielnych, takich jak starzec lepki, przymiotno kanadyjskie, podbiał pospolity i trzcinnik piaskowy, a także brzozy brodawkowatej. Na większości powierzchni wierzchowiny praktycznie brak roślinności (fot. 2).



Fot. 1. Widok ogólny hałdy Piast od strony północno-zachodniej

Phot. 1. General view to the Piast heaps from the north-west



Fot. 2. Wierzchowina hałdy

Phot. 2. Plateau of the heap



Fot. 3. Przepalony i nieprzepalony materiał zgromadzony nawałdzie (fot. A. Karczewska)
Phot. 3. Blown and raw material gathered on the heap (photo A. Karczewska)

Metodyka badań

Próbki pobrano w 7 punktach zlokalizowanych w różnych częściachwałdy: cztery – w obrębie rozległych wypłaszczeń w dolnej i środkowej części zwał, w znacznej mierze zadrzewionych, z dominującym udziałem brzozy brodawkowatej; oraz trzy – na wierzchołynie, lokalnie tylko pokrytej roślinnością zielną wkraczającą w drogę sukcesji naturalnej. We wszystkich punktach pobrano próbki z warstwy powierzchniowej (0-10 cm) tworzącej się gleby, a w 2 punktach – dodatkowo także z warstwy głębszej: 30-40 cm. Punkty pobrania próbek dobrano tak, aby reprezentowały materiał skały płonnej nie przepalanej (gdyż taki materiał dominuje na powierzchniwałdy), choć lokalnie na powierzchni występuje też materiał przepalony (fot. 3).

W pobranych próbkach oznaczono skład granulometryczny – metodą areometryczno-sitową, gęstość właściwą – metodą piknometryczną oraz podstawowe właściwości chemiczne i fizykochemiczne, w tym: zawartość węgla organicznego metodą Tiurina, odczyn w 1M KCl, kwasowość hydrolityczną, wymienne kationy zasadowe – zmodyfikowaną metodą Pallmanna (w octanie amonu) oraz zasolenie – metodą konduktometryczną. Nie oznaczano azotu

ogólnego i stosunku C:N, gdyż w przypadku hałd górniczych ten parametr nie jest dobrym wskaźnikiem dostępności azotu. Materiał nieprzepalonych hałd zawiera zwykle znaczne ilości azotu, głównie w formie heterocyklicznej, niedostępnej dla roślin i mikroorganizmów [Strzyszc 1989, Maciejewska-Kuriata 2005]. Oznaczono natomiast całkowite zawartości pierwiastków metalicznych: Pb, Zn i Cu, metodą AAS po mineralizacji próbek w wodzie królewskiej.

Wyniki badań i dyskusja

Materiał hałd nie wykazywał znaczniejszego zróżnicowania między dolną i wierzchowinową częścią zwału. Nie stwierdzono też większych różnic we właściwościach materiału między warstwą powierzchniową (0-10 cm) a warstwą głębszą (30-40 cm). Wszystkie próbki wykazywały dużą szkieletowość, a udział frakcji > 2 mm był w granicach 25-59 % (tab. 1). Należy jednak podkreślić, że oznaczenie składu granulometrycznego w próbkach materiału hałd pogórnich naraża na pewne trudności, nie tylko ze względu na niską odporność mechaniczną okruszków i ich rozpadanie się podczas analizy, ale także – ze względu na różną od typowych minerałów skał glebotwórczych gęstość właściwą (tabela 1) i konieczność modyfikacji czasu odczytów w metodzie sedymentacyjnej [Maciejewska-Kuriata 2005]. W częściach ziemistych dominowała frakcja piasku (0,05-2 mm), a udział frakcji ilastej mieścił się w przedziale 4-10 %.

Tab. 1. Skład granulometryczny i wybrane właściwości fizyczne materiału (wartości średnie i zakresy)

Tab. 1. Mechanical composition and chosen physical properties of material (mean values and ranges)

Lokalizacja	Głębokość, cm	N	Corg., %	Udział frakcji granulometr., %			Gęstość właściwa, g/cm ³	
				Cz. szkielet. > 2 mm	W częściach ziemistych, %			
Dolna i środkowa część zwału	0-10	4	<u>5,4</u> 0,84-10,1	<u>42</u> 25-59	<u>77</u> 69-81	<u>15</u> 12-23	<u>8</u> 7-9	<u>2,52</u> 2,06-2,76
	30-40	1	11,0	43	74	19	7	2,35
Wierzchowina	0-10	3	<u>12,4</u> 12,1-12,6	<u>39</u> 36-42	<u>75</u> 72-79	<u>17</u> 15-19	<u>8</u> 5-10	<u>2,15</u> 2,13-2,18
	30-40	1	10,1	35	77	19	4	2,17

N – liczba próbek; N - number of samples

Badany materiał zawierał znaczne ilości węgla – powyżej 10% (tylko w jednej próbce: 0,84%). Nie jest to jednak węgiel próchnicy powstałej w bieżących

procesach humifikacji, a resztkowy węgiel ze złoża, tworzący silnie skondensowane połączenia organiczne. Przy tej zawartości Corg., pojemność sorpcyjną (T: 4,2-13,0 cmol(+)/kg) należy uznać za średnio wysoką (tab. 2). W kompleksie sorpcyjnym badanych utworów dominowały kationy zasadowe (V: 64-94%), a odczyn materiału był obojętny lub alkaliczny (pH: 6,43-7,95). Wprawdzie materiał skały płonnej górnictwa węgla może charakteryzować się skrajnie różnym odczynem [Karczeńska 2008, Strzyszc 1989], to jednak najczęściej odczyn materiału nieprzepsalonego jest kwaśny wskutek utleniania piritu.

Dość nietypowe, wysokie wartości pH w badanym materiale można wiązać ze znacznie większym zasoleniem, jednak ani skład kompleksu sorpcyjnego (tab. 2), ani zawartość rozpuszczalnych soli: 405-1510 mg/kg (tab. 3) nie wykroczyły poza zakresy typowe dla hałd słabo zasolonych, a zasolenie mieściło się w klasie 0 wg FAO, zatem nie powinno powodować negatywnych reakcji roślin, albo (przy wartościach >600 mg/kg) może nieznacznie tylko wpływać na wzrost roślin najbardziej wrażliwych [Karczeńska 2008].

Tab. 2. Właściwości fizykochemiczne ziemistych części materiału (wartości średnie i zakresy)

Tab. 2. Physicochemical properties of the material's fine parts (mean values and ranges)

Lokalizacja	Głębokość, cm	Kh	Ca	K	Mg	Na	T	V
		cmol(+) / kg						%
Dolna i środkowa część zwału	0-10	<u>0,8</u> 0,8	<u>2,9</u> 1,7-7,1	<u>0,4</u> 0,2-0,6	<u>4,5</u> 1,0-6,7	<u>0,4</u> 0,2-0,8	<u>9,6</u> 8,6-10,7	<u>90</u> 89-92
	30-40	0,8	2,5	0,3	0,3	0,3	4,2	81
Wierzchołowa	0-10	<u>1,8</u> 0,8-4,0	<u>5,7</u> 2,0-8,2	<u>0,3</u> 0,1-0,5	<u>4,1</u> 3,0-5,0	<u>0,4</u> 0,2-0,5	<u>12,4</u> 11,7-13,0	<u>83</u> 65-94
	30-40	0,8	2,8	0,3	5,5	0,2	10,1	88

Tab. 3. Zasolenie oraz zawartość wybranych metali ciężkich w ziemistych części materiału (wartości średnie i zakresy)

Tab. 3 Salinity and the content of selected heavy metals in the material's fine parts (mean values and ranges)

Lokalizacja	Głębokość, cm	pH KCl	Zasolenie, mg KCl/kg	Całkowita zawartość metali, mg/kg		
				Pb	Zn	Cu
Dolna i środkowa część zwału	0-10	<u>7,72</u> 7,45-7,95	<u>421</u> 405-459	<u>26,6</u> 16,9-47,0	<u>40,3</u> 24,4-61,6	<u>23,5</u> 8,9-48,6
	30-40	7,45	459	29,1	36,4	16,6
Wierzchołowa	0-10	<u>7,32</u> 6,43-7,90	<u>1060</u> 430-1510	<u>40,2</u> 23,6-49,5	<u>77,3</u> 50,5-115	<u>44,7</u> 25,4-58,5
	30-40	7,70	405	30,0	70,3	34,9

Całkowite zawartości analizowanych metali ciężkich: Pb, Zn i Cu pozostały w granicach wartości niskich – i nie tylko nie przekraczały wartości określonych jako standardy jakości gleb i ziem dla terenów przemysłowych, czy terenów leśnych, ale pozostawały w zakresie zawartości typowych dla gleb niezanieczyszczonych [Karczevska 2008].

Wnioski

Przeprowadzone badania właściwości materiału odpadów górniczych na hałdzie Piast nie wskazują na istnienie czynników niekorzystnych dla rekultywacji. Niewątpliwie duża szkieletowość utworów i ich właściwości fizyczne mogą stwarzać pewne problemy, jednak nie stwierdzono aby skład chemiczny materiału hałd stanowił ograniczenie dla procesu rekultywacji, zatem po zastosowaniu nawożenia mineralnego proces ten powinien przynieść pożądane efekty.

Literatura

1. BLASZKE J., BELO H., LEGUTO J., NOWAK T., NOWAK-LENARTOWSKA A., PONIŃSKI J.: *Dokumentacja rekultywacji zwalów Piast i Szlupiec*. Maszynopis. Spółka Restrukturyzacji Kopalń w Katowicach. 2002
2. DRENDĄ J., RÓŻAŃSKI Z., SŁOTA K., WRONA P.: *Zagrożenia pożarowe na zwalowiskach odpadów powęglowych*. *Górnictwo i Geoinżynieria*, R.31, 3/1, 149-157, 2007
3. KARCZEWSKA A.: *Ochrona gleb i rekultywacja terenów zdegradowanych*. Wydawnictwo Uniwersytetu Przyrodniczego we Wrocławiu 2008
4. LOTTERMOSER B.: *Mine wastes. Characterization, treatment and environmental impacts*. Springer-Verlag, Berlin-Heidelberg 2003
5. MACIEJEWSKA-KURIATA A. 2005: *Zmiany właściwości gruntów na zwalowiskach górnictwa węgla kamiennego rejonu wrocławskiego w procesie ich rekultywacji*. Praca doktorska. AR we Wrocławiu (maszynopis)
6. PONIŃSKI J.: *Projekt techniczny rekultywacji zwalów 6/4 na polu Piast w Nowej Rudzie*. Maszynopis. Spółka Restrukturyzacji Kopalń w Katowicach, Oddział w Nowej Rudzie. 2006
7. STRZYSZCZ Z.: *Ocena przydatności odpadów górniczych Górnośląskiego Zagłębia Węglowego do rekultywacji biologicznej*. *Arch. Ochrony Środ.* 1-2, 91-123, 1989

PROPERTIES OF WASTE ROCK DEPOSITED ON MINE SPOILS OF HARD COAL MINES IN NOWA RUDA WITH THE PERSPECTIVE OF THEIR BIOLOGICAL RECLAMATION

S u m m a r y

Examined were the properties of unburned waste rock on the mine spoil of the coal mine Piast in Nowa Ruda. Waste material was relatively homogeneous in various parts of the spoil. It contained high amounts of skeleton and residual coal, and its pH was neutral or alkaline. The salinity was in the class 0, and Pb, Zn, and Cu concentrations were low. Those properties should not negatively affect the process of reclamation.

Key words: mine spoils, hard coal, reclamation, soil

MIRANDA PTAK***OBSZARY NATURA 2000 A ZŁOŻA
WĘGLA BRUNATNEGO W DORZECZU ODRY***S t r e s z c z e n i e*

Artykuł przedstawia aktualny stan wyznaczania sieci obszarów Natury 2000 w Polsce z zaznaczeniem złóż węgla brunatnego występujących w Dorzeczu Odry, które zlokalizowane są w obszarach naturalnych. Ponadto artykuł przedstawia najnowsze regulacje prawne w tym zakresie oraz wskazuje na problemy jakie towarzyszą w poszukiwaniu metody oceny możliwości prowadzenia odkrywkowej działalności w obszarach naturalnych.

Słowa kluczowe: górnictwo odkrywkowe, Natura 2000, złoża węgla brunatnego, Dorzecze Odry

Wprowadzenie

Węgiel brunatny jest cennym surowcem Dorzecza Odry. Bogate złoża węgla brunatnego mogą dla obszarów zachodniej Polski wkrótce wyznaczyć nowy kierunek rozwoju. Szczególnie taki rozwój powinien nastąpić na terenach po nieistniejących już PGR-ach pozostawionych jako nieużytki, bez przyszłości i wizji na ich zagospodarowanie. Wspomniany rozwój winien być budowany na dwóch podstawowych filarach: poszanowaniu wartości społeczno-gospodarczych i poszanowaniu wartości przyrodniczych. Pozwoli to urzeczywistnić ideę zrównoważonego rozwoju, która złotymi zgłoskami wybija się na plan pierwszy wspólnotowego i polskiego prawodawstwa. Niestety, jak wszystko co ma zapewnić trwałe dobro, nie przebiega on bez zgrzytów i problemów. Jednym z nich są inwestycje polegające na eksploatacji złóż węgla brunatnego jakie znajdują się w obszarach naturalnych, których charakterystyka, jak również złożoność problemu, zostanie przedstawiona poniżej.

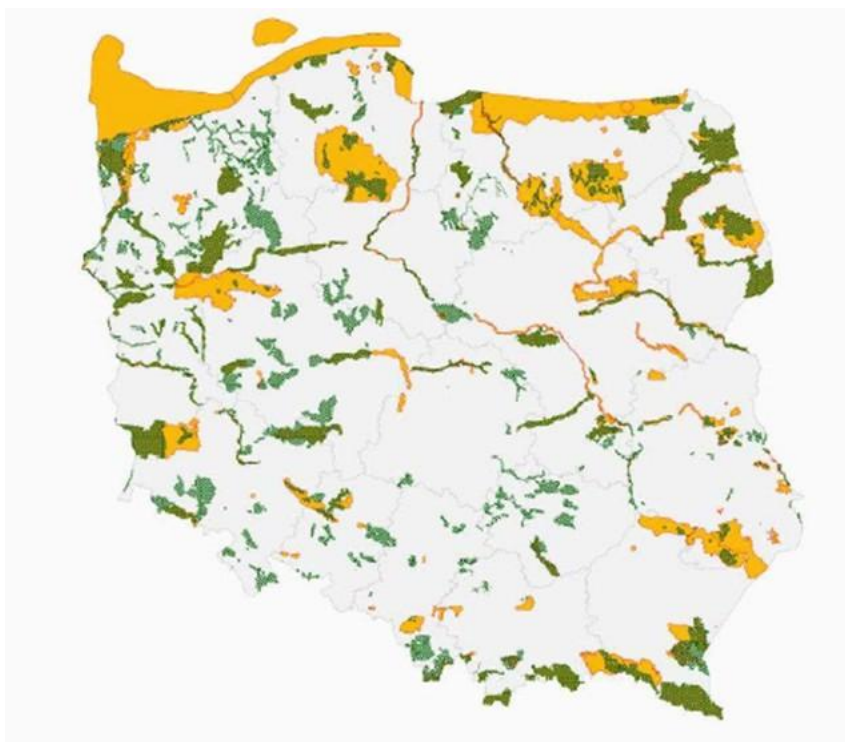
* Okręgowy Urząd Górniczy we Wrocławiu

Uwagi ogólne

Problem prowadzenia odkrywkowej działalności górniczej na obszarach Natury 2000 na przestrzeni ostatnich sześciu lat miał różną dynamikę. Trzeba zauważyć, że od dnia 1 maja 2004 r., kiedy Polska przystąpiła do Unii Europejskiej, polskie ustawodawstwo przyjęło cały wspólnotowy dorobek prawny, a z tym również regulacje i zobowiązania dotyczące tworzenia i ustanawiania obszarów Natura 2000 [Kasztelewicz i Ptak 2009a,b]. Z perspektywy minionego czasu można powiedzieć, że jako kraj, który miał wyznaczyć obszary cenne przyrodniczo dla Wspólnoty, nie byliśmy niestety przygotowani. Nie utyskując i nie narzekając na zastaną sytuację należy jednak stwierdzić, że Polska nie miała wykonanej inwentaryzacji przyrodniczej w oparciu o jednolite kryteria, która zapewniłaby komfort typowania obszarów naturalnych (dla przykładu Czesi wykonywali swoje typowania w oparciu o stałą grupę operacyjną przyrodników, o wcześniej wykonane inwentaryzacje i o jednolite kryteria). W Polsce pierwsze prace przyrównać można do pospolitego ruszenia, czego efektem były kłótnie pomiędzy stroną rządową a przyrodnikami. W konsekwencji, w 2004 i 2005 roku, z uwagi na niejasności, brak inwentaryzacji, odmienne zdania pomiędzy stanowiskiem rządowym a stanowiskiem przyrodników, w przedmiocie wyznaczania obszarów naturalnych zapanowała anarchia. Grupy przyrodników lub pojedyncze osoby z różnym skutkiem wykonywały dokumentacje przyrodnicze. Efektem tego okresu była lista rządowa i lista ekologów (*Shadow List*), które zasadniczo różniły się i zakresem ochrony i typowaniem obszarów naturalnych, jak i obiektami tej ochrony. Lata: 2006, 2007, 2008 oraz szczególnie rok 2009 były okresem, kiedy doniesienia stowarzyszeń ekologów do Komisji Europejskiej wymusiły na stronie rządowej wzmożenie prac nad obszarami Natura 2000. Efektem minionego roku było podanie do wiadomości przez Ministra Środowiska Macieja Nowickiego, że w Polsce „zakończyliśmy okres wyznaczania obszarów naturalnych”. W tym miejscu należy doprecyzować, iż niewątpliwie jest sukcesem, że strona rządowa i przyrodnicy doszli do jakiegoś konsensusu, ale sam proces tworzenia nie jest procesem zamkniętym. Po pierwsze – z racji samej natury rzeczy, gdyż jest to proces stale podlegający zmianom, a po drugie – o zamknięciu na tą chwilę można mówić w przypadku obszarów ptasich. Obszary siedliskowe są natomiast jeszcze na etapie zatwierdzania w Komisji Europejskiej, a tym samym mogą one być uznane lub nie, jako tereny o znaczeniu wspólnotowym. Mimo tych, bardzo trudnych dla inwestora zawiłości prawnych, każdy potencjalny przedsiębiorca musi wiedzieć, że eksploatacja złóż kopaliny ściśle wiąże się z uwarunkowaniami, jakie niesie ze sobą najmłodsza forma ochrony przyrody – obszary Natura 2000.

Stan prac nad obszarami Natura 2000 w Polsce

Na przestrzeni ostatnich sześciu lat widać jednoznacznie, że na mapie Polski obszary Natura 2000 są coraz liczniejsze i zajmują coraz większą powierzchnię. Pierwsze prace nad tymi obszarami i ich lokalizacją były przeprowadzone w końcu lat osiemdziesiątych, a o ich wdrożeniu rozmawiano podczas prac nad pakietem akcesyjnym przystąpienia Polski do Unii Europejskiej. Wyznaczenie obszarów naturalnych było więc jednym z obowiązków, jaki Polska musiała spełnić przystępując do Wspólnoty Europejskiej. Dla porównania, do końca czerwca 2007 roku ustanowiono w Polsce 72 obszary ptasie i 184 obszary siedliskowe. Łącznie zajmowały one około 12,8% powierzchni kraju. Następnie w lipcu 2007 roku nastąpiło poszerzenie propozycji rządowej i ustanowiono 91 obszarów ptasich oraz zwiększono listę obszarów siedliskowych do 261, co powierzchniowo odpowiadało około 18,5% powierzchni kraju. W 2008 i 2009 roku intensywnie zmieniały się ilości wyznaczanych obszarów.

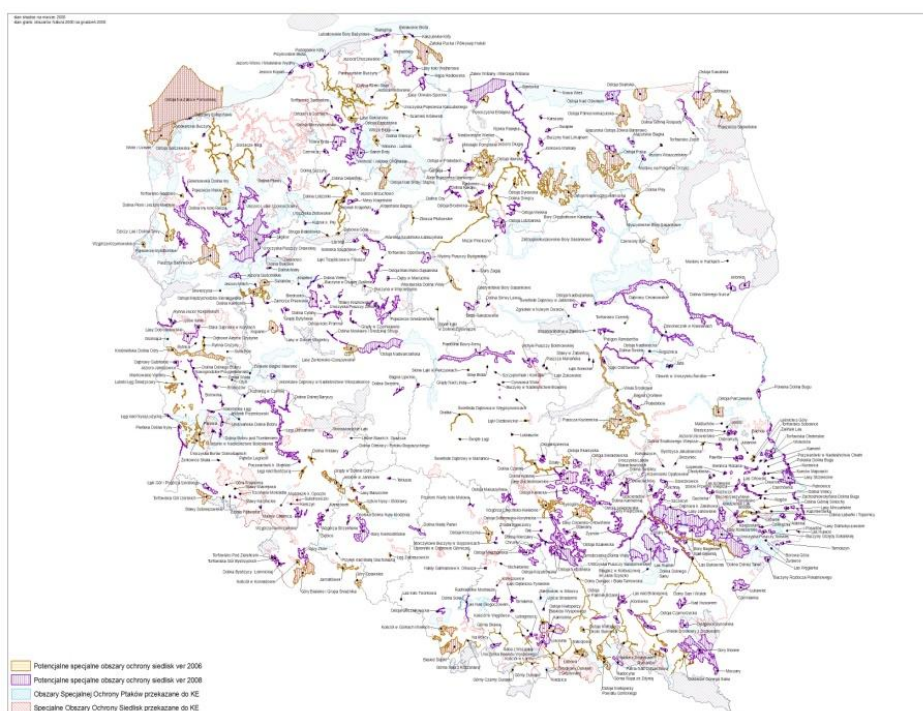


Rys. 1. Mapa Polski z projektowanymi obszarami naturalnymi
[Ministerstwo Środowiska, stan przed 2007 r.]

Fig. 1. Polish Map of the design Natura 2000 areas
[Ministry of the Environment, the state before 2007]

Na koniec 2009 roku stan wyznaczania obszarów naturowych był następujący: 823 obszary siedliskowe, zajmujące obszar o łącznej powierzchni 11,05% powierzchni lądowej kraju oraz 141 obszarów ptasich, zajmujących łącznie 15,56% powierzchni lądowej kraju. W tej liczbie jest 7 obszarów o statusie ptasio-siedliskowym.

Całkowita liczba obszarów naturowych w Polsce na koniec 2009 roku, jaką ustalono w oparciu o dane ministerialne oraz środowiska przyrodnicze (i utrzymana do I kwartału 2010 r.) wynosi 957 obszarów o łącznej powierzchni lądowej kraju 19,97%. Jak widać z przedstawionych danych, jest to znaczna część powierzchni kraju. Do pełni obrazu należy dodać ok. 33% wskaźnik lesistości Polski, co czyni powierzchnię lądową Polski bardzo szczelną dla inwestycji przemysłowych. Śmiało można stwierdzić, że już teraz nie ma w Polsce powierzchni bezkonfliktowej do podejmowania inwestycji, lub że przestrzeń ta bardzo się skurczyła.

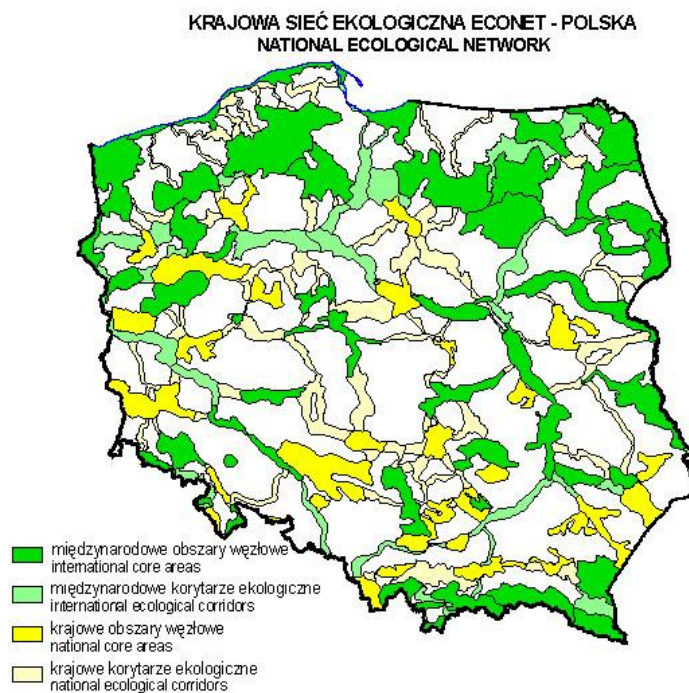


Rys. 2. Mapa Polski z projektowanymi obszarami naturowymi
[Ministerstwo Środowiska stan na koniec 2009 r.]

Fig. 2. Map of the Poland with designed Natura 2000 areas
[Ministry of Environment, state at the end of 2009]

Bardziej aktualne niż kiedykolwiek wydają się postulaty o zabezpieczanie złóż kopalin. Złóż, które z uwagi na liczne cele ochronne, nie mogą być eksploatowane. Głębiej analizując regulacje prawne widać jak z dnia na dzień potęgują się wymagania proceduralne oraz finansowe dla potencjalnych inwestorów. Nakładając na ten obraz dane liczbowe innych krajów Wspólnoty, widać wyraźny podział pomiędzy krajami takimi jak Francja, Niemcy, Holandia, Szwajcaria, Wielka Brytania, Norwegia, Dania a Polską, Słowacją czy Węgrami. Nowe kraje Wspólnoty mają zdecydowanie wyższy procentowy udział obszarów naturalnych w powierzchni lądowej kraju. Poniżej zamieszczone są dwa rysunki przedstawiające stan obszarów Natura 2000 przed 2007 rokiem oraz stan obszarów Natura 2000 na koniec 2009 roku (rys. 1 i 2).

Przedstawiając problematykę wyznaczania obszarów naturalnych należy wspomnieć, że docelowo polskie obszary Natura 2000, na które składają się tzw. obszary ptasie, obszary siedliskowe oraz obszary o statusie ptasio-siedliskowym, mają stanowić spójną sieć obszarów chronionych. Stworzą one paneuropejską sieć obszarów chronionych w celu zachowania bioróżnorodności. Proponowany docelowy kształt krajowej sieci ekologicznej – ECONET Polska przedstawiono na rys. 3.



Rys. 3. Mapa Polski z propozycją docelowej sieci ekologicznej ECONET-POLSKA
Fig. 3. Map of Poland with proposed target ecological network ECONET-POLAND

Nowe regulacje prawne dla obszarów Natura 2000

Pomimo, że regulacje unijne nie zmieniły się, to w polskim prawodawstwie została wprowadzona kolejna zmiana mająca na celu właściwe dostosowanie regulacji krajowych do unijnych. Od 28 marca 2010 roku pojawił się nowy akt prawny - rozporządzenie Ministra Środowiska z dnia 17 lutego 2010 r. w sprawie sporządzania projektu planu zadań ochronnych dla obszaru Natura 2000. (Dz. U. Nr 34, poz. 186). Jest to realizacja delegacji ustawowej zawartej w art. 28 ust 13 ustawy o ochronie przyrody (tj. z 2009 r. Dz. U. Nr 151, poz. 1220 ze zm.). Przedmiotowy akt reguluje tryb sporządzania projektu i zmian planu zadań ochronnych dla obszarów naturalnych oraz zakres prac koniecznych dla sporządzenia projektu planu zadań ochronnych. Regulacja porządkuje obowiązki, jakie ciążyą na regionalnych dyrektorach ochrony środowiska jako jednostkach sprawujących nadzór nad obszarami naturalnymi. Przedmiotowych planów zadań ochronnych nie należy mylić z planami ochrony dla obszarów Natura 2000, które dopiero doczekają się regulacji szczegółowej (zgodnie z delegacją zawartą w art. 29 ust 10 ustawy z dnia 16 kwietnia 2004 r. o ochronie przyrody). Daleko posunięte są również prace legislacyjne dotyczące gruntownych zmian w zakresie regulacji w sprawie typów siedlisk przyrodniczych oraz gatunków będących przedmiotem zainteresowania Wspólnoty, w tym siedlisk przyrodniczych i gatunków o znaczeniu priorytetowym oraz wymagających ochrony w formie wyznaczania obszarów Natura 2000, a także kryteriów wyborów obszarów kwalifikujących się do uznania lub wyznaczania jako obszary Natura 2000.

Natura 2000 a złoża węgla brunatnego w Dorzeczu Odry

Analizując obszar Dorzecza Odry pod rozważę bierzemy bardzo duży obszar Polski. W tym obszarze, w wyniku przeprowadzonych badań stwierdzono występowanie aż 11 złóż węgla brunatnego, które bądź w całości pokrywają obszar naturalny, bądź też stanowią jakiś procent jego ogólnej powierzchni. Te 11 złóż węgla brunatnego stanowi ponad połowę wszystkich konfliktowych złóż węgla brunatnego występujących w Polsce. Złoża węgla brunatnego są w różnym stopniu zagospodarowane, jak i udokumentowane. Poniższa tabela (tab. 1) przedstawia nazwy złóż, numer z bazy danych MIDAS, ich stopień zagospodarowania oraz obszary Natura 2000 wraz z ich lokalizacją terytorialną. Złoża węgla brunatnego, poprzez eksploatację, oddziałują na trzy obszary ptasie Natura 2000: Puszcę Notecką, Dolinę Środkowej Odry i Bory Dolnośląskie oraz na pięć obszarów siedliskowych: Dolina Ilanki, Buczyna Łagowsko-Sulęcińska, Dolina Pliszki, Torfowisko Młodno i Pątnów Legnicki.

Tab. 1. Złoże węgla brunatnego Dorzecza Odry w obszarach Natury 2000 [Ptak 2007a,b,c; 2008a,b]

Tab. 1 Brown coal deposits of the Odra River Basin in the areas of Natura 2000 [Ptak 2007a,b,c; 2008a,b]

ZŁOŻE	MIDAS	zagospodarowanie	OSO - PTASIE	SOO - SIEDLISKO WE	Miejscowość /Powiat
Kopalnia Wanda	4300	rozpoznanie szczegółowe	PUSZCZA NOTECKA PLB 300015		Międzychód/Międzychód
Rzepin	5604	wstępne rozpoznanie		DOLINA ILANKI PLH 080009	Cybinka/Słubice; Rzepin/Słubice; Słubice/Słubice
Torzym	5603	wstępne rozpoznanie		DOLINA ILANKI PLH 080009	Łagów/Świebodzin; Sulęcín/Sulęcín; Torzym/Sulęcín
Torzym Pole Południe	5603	wstępne rozpoznanie		BUCZYNA ŁAGOWSK O - SULECINSKA PLH 080008	Łagów/Świebodzin; Sulęcín/Sulęcín; Torzym/Sulęcín
Sieniawa – Siodło	416	rozpoznanie szczegółowe		BUCZYNA ŁAGOWSK O - SULECINSKA PLH 080008	Łagów/Świebodzin; Sulęcín/Sulęcín;
Sądów	497	wstępne rozpoznanie		DOLINA PLISZKI PLH 080011	Cybianka/Słubice; Maszewo/Krosno Odrz.; Torzym/Sulęcín
Cybinka	478	wstępne rozpoznanie	DOLINA ŚRODKOW EJ ODRY PLB 080004	TORFOWISKO MŁODNO PLH080005	Cybianka/Słubice; Maszewo/Krosno Odrz.
Mosty	496	wstępne rozpoznanie	BORY DOLNOŚLASKIE PLB 020005		Łęknica/Żary
Kaławski - Szyb Główny	419	zaniechana	BORY DOLNOŚLASKIE PLB 020005		Węgliniec/Zgorzelec
Kaławsk -	5100	wstępne rozpoznanie	BORY DOLNOŚLA		Węgliniec/Zgorzelec

Południe			SKIE PLB 020005		
Legnica - Pole Wschód	441	rozpoznanie szczegółowe		PĄTNÓW LEGNICKI PLH 020052	Kunice/Jawor

Przedstawiona tabela 1 odpowiada danym, jakie udostępniło Ministerstwo Środowiska 30 czerwca 2009 r. Z przeprowadzonych badań i analiz poszczególnych złóż w kontekście ich walorów geologiczno – górniczych, jak i walorów przyrodniczych uzyskano wyniki wskazujące, iż w większości przypadków możliwe jest prowadzenie eksploatacji złoża. Przy pomocy metody klasyfikacji złóż w obszarach Natura 2000, dokonano swego rodzaju rankingu waloryzacji tych złóż w odniesieniu do możliwości eksploatacji ich z uwagi na obszary Natura 2000.

Eksploatacja złóż w obszarach Natura 2000 – poszukiwanie metody

Eksploatacja złóż węgla brunatnego i nie tylko tej kopaliny, na trwale spłotła się z najmłodszą formą ochrony przyrody, jaką są obszary Natura 2000. Jest to dość trudne partnerstwo, gdyż brak jest instrumentów metodycznych, które pozwoliłyby inwestorowi, czy też nadzorca terenu lub organowi administracji, jednoznacznie i obiektywnie ocenić możliwość prowadzenia działalności górniczej na tych obszarach. Nie można też przenieść modeli, jakie próbuje się wypracować w innych dziedzinach i innych krajach. Polska ma bowiem własną charakterystykę, która nie jest adekwatna ani do warunków geologicznych, ani prawnych, ani też przyrodniczych innych krajów Wspólnoty. Dla przykładu, w Niemczech stosowana jest metoda ogólnego ryzyka środowiskowego (*Environmental Risk Assessment* – ERA) dla ryzyka środowiskowego spowodowanego planowaną budową lub rozbudową dróg szybkiego ruchu [Palmąka 2005]. Metoda ta opiera się na określeniu odporności środowiska dla poszczególnych komponentów, np. dla krajobrazu (*landscape resistance*) oraz siły oddziaływania (*impast strength*). Ocena ryzyka środowiskowego dla planowanej inwestycji, wpływającej negatywnie na stan środowiska, została określona na podstawie zbiorczej macierzy kategoryzującej, jako iloczyn odporności środowiska i siły oddziaływania inwestycji:

$$RR = LR \times IS$$

gdzie: RR - stopień ryzyka (*risk rank*), LR- odporność środowiska (*landscape resistance*), IS - siła oddziaływania (*impast strength*).

Przy określaniu całkowitej oceny ryzyka środowiskowego (GRR) należy uwzględnić procentowy udział poszczególnych powierzchni, których stopień narażenia na oddziaływanie został wcześniej ustalony wg powyższego wzoru. Całkowita ocena ryzyka środowiska, jaka znalazła zastosowanie przy inwestycjach drogowych jest pięciostopniowa; stopień ryzyka (*General Risk Rank*) może być: nieistotny (*very low*), mały (*low*), średni (*middle*), wysoki (*high*) i bardzo wysoki (*very high*).

W przypadku inwestycji górniczych brak jest wypracowanych metod. Dlatego też zostały podjęte próby opracowania metody do oceny możliwości prowadzenia odkrywkowej działalności górniczej oddziałującej na obszary Natura 2000. Do badań zostały wykorzystane różne techniki i metody matematyczno-statystyczne. Wspólnym mianownikiem ich było zebranie, zgromadzenie i opracowanie danych. W dalszej kolejności został wykonany ranking złóż oddziałujących na obszary Natura 2000, przy użyciu metody AHP – Analitycznego Procesu Hierarchicznego. Uzyskane wyniki posłużyły jako jeden ze strumieni danych dla klasyfikacji opartej na klasyfikatorze Bayesa.

Podsumowanie

Jak wynika z treści artykułu, obszar Dorzecza Odry jest bogaty w surowiec, jakim jest węgiel brunatny. Występujące tu złoża węgla brunatnego to w 11 przypadkach złoża oddziałujące na obszary Natura 2000, co stanowi ponad połowę wszystkich złóż konfliktowych w Polsce. Wyraźnie widać, z uwagi na procentowy udział różnych reżimów ochronnych, w tym Natury 2000, że mocno skurczyła się bezkonfliktowa powierzchnia przemysłowa w Polsce. Jednocześnie, przy bardzo lawinowo narastającym problemie inwestycji górniczych w obszarach Natura 2000, brak jest metody oraz uniwersalnych i obiektywnych narzędzi do oceny możliwości prowadzenia działalności górniczej w obszarach naturalnych. Ten ostatni argument najbardziej przyczynił się do rozpoczęcia prac w poszukiwaniu metody, która rozwiązywałaby ten problem.

*Praca naukowa finansowana ze środków na naukę w latach 2008-2011
jako grant promotorski*

Literatura

1. PALMAKA M.: *Metody oceny ryzyka środowiskowego na przykładzie planowania inwestycji liniowych* Wyd. Przegląd Geologiczny vol. 53 nr 7, Warszawa 2005
2. PTAK M.: *Sieć obszarów Natura 2000 w aspekcie działalności odkrywkowych zakładów górniczych* wyd. Bezpieczeństwo pracy i ochrona środowiska w górnictwie WUG 6(154)/2007, Katowice 2007
3. PTAK M.: *Wpływ ochrony przyrody na możliwość prowadzenia odkrywkowej działalności górniczej w aspekcie Europejskiej Sieci Ekologicznej Natura 2000*, Prace naukowe GIG „Geologia i geofizyka w rozwiązywaniu problemów współczesnego górnictwa i terenów pogórnicznych; Kwartalnik, wyd. spec. Nr III/2007, Katowice 2007
4. PTAK M.: *Kompensacja przyrodnicza w działalności górniczej ze szczególnym uwzględnieniem obszarów Natura 2000*. Kopaliny Podstawowe i Pospolite Górnictwa Skalnego 5/2007 (48); 2007
5. PTAK M. Istota ochrony obszarów Natury 2000 i poszukiwanie metody oceny możliwości prowadzenia działalności górniczej na tych obszarach. Materiały publikowane i prezentowane na Konferencji VIII Ochrona obszarów górniczych Szczyrk 2008, SITG Oddział w Katowicach
6. PTAK M. The usefulness of selected scientific methods to solve the conflicts of face mining and regions Nature 2000. Mineral Resources Management, Quarterly Volume 22 Issue 3/1; IGSMiE PAN Kraków 2008
7. KASZTELEWICZ Z., PTAK M.: *Wybrane problem zabezpieczania złóż węgla brunatnego w Polsce dla odkrywkowej działalności górniczej*, IGSMiE PAN, Polityka Energetyczna Tom 12, Z. 2/2 2009
8. KASZTELEWICZ Z., PTAK M.: *Procedura oceny oddziaływania na środowisko w górnictwie odkrywkowym, w świetle nowych regulacji ze szczególnym uwzględnieniem specyfiki obszarów Natura 2000*, IGSMiE PAN, Kwartalnik. Gospodarka Surowcami Mineralnymi Tom 25, z. 3, str. 153-171

Akty prawne

1. Dyrektywa Rady z dnia 2 kwietnia 1979 r. w sprawie ochrony dzikich ptaków; Dyrektywa zmieniona przez 981/854/EWG, 91/244/EWG, 94/24/EWG opublikowana (Dz. Urz. WE seria L 1979r. Nr 130 s.1)
2. Dyrektywa Rady z dnia 21 maja 1992 roku w sprawie ochrony siedlisk naturalnych oraz dzikiej fauny i flory; Dyrektywa zmieniona przez 97/62/EWG; opublikowana (Dz. Urz. WE seria L 1992r. nr 2006 s.7)
3. Ustawa z 16 kwietnia 2004 r. o ochronie przyrody (tj. z 2009 r. Dz. U. 151, poz. 1220z późn. zm.)

4. Ustawa z dnia 27 kwietnia 2001 Prawo ochrony środowiska (Dz. U. tj. z 2008 r. Nr 25, poz. 150 ze zm.)
5. Rozporządzenie Ministra Środowiska z dnia 21 lipca 2004 r. w sprawie obszarów specjalnej ochrony ptaków Dz. U. nr 229, poz. 2313) zmienione rozporządzeniem Ministra Środowiska z dnia 5 września 2007r. (Dz. U. 179, poz. 1275)
6. Rozporządzenie Ministra Środowiska z dnia 16 maja 2005 roku w sprawie typów siedlisk przyrodniczych oraz gatunków roślin i zwierząt wymagających ochrony w formie wyznaczenia obszarów Natura 2000 (Dz. U. Nr 94, poz. 795)

THE NATURE 2000 AREAS AND LIGNITE DEPOSITS ON ODRA BASIN

S u m m a r y

The article presents the current state of setting Nature 2000 areas in Poland together with lignite deposits in Odra Basin located in these areas. The most recent law regulations are presented. Furthermore, problems that come with assessment of mining activity in Nature 2000 areas are emphasized.

Key words: opencast mining, Nature 2000, lignite deposits, Odra Basin

MAGDA HUDAK***WPLYW RODZAJU GRUNTU NA WARUNKI EKSPLOATACJI
WÓD PODZIEMNYCH***Streszczenie*

Przez sufozję rozumiemy wymywanie z podłoża gruntowego najdrobniejszych cząstek gruntu przez strumień wody gruntowej poruszającej się z określoną prędkością. Przemieszczenie ziaren gruntu, będące wynikiem sufozji, powoduje lokalne zwiększenie porowatości, co sprzyja zwiększeniu intensywności filtracji. W artykule podjęto próbę analizy możliwości powstawania zjawiska sufozji na terenie Centralnego Ujęcia Wody w Zawadzie k/Zielonej Góry.

Słowa kluczowe: ujęcie wód podziemnych, sufozja, warunki gruntowe

Wstęp

Trudności związane z pozyskaniem wody na cele bytowo-gospodarcze, z jakimi zmagają się wiele miast, wysunęły potrzebę przebadania czynników wpływających w zasadniczy sposób na spadek wydajności studni, a co za tym idzie – na czas pracy studni.

Wiadome jest, że wybór lokalizacji ujęcia wód podziemnych powinien być poprzedzony szerokimi badaniami hydrogeologicznymi. Nie tylko ze względu na wielkość poboru wody i jej jakość, ale także – na możliwości wieloletniej eksploatacji ujęcia.

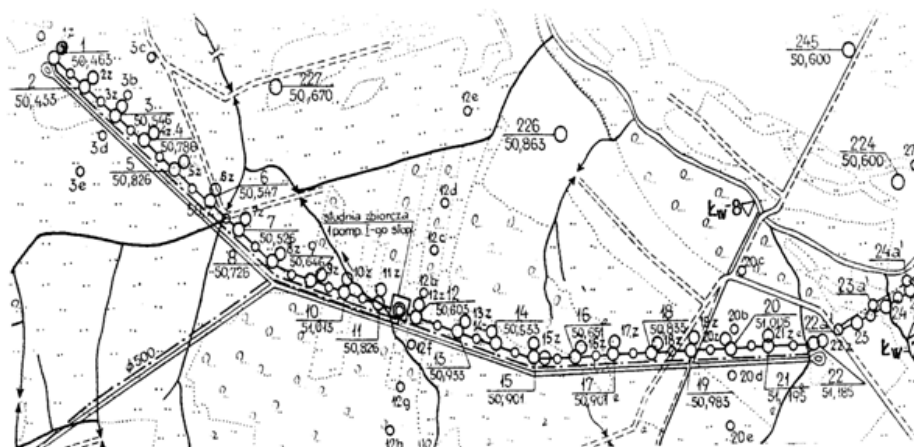
Lokalizacja ujęcia

Teren przedmiotowego ujęcia znajduje się w zakolu rzeki Odry, na jej lewo-brzeżnej dolinie. Jest to teren położony około 8 km na wschód od Zielonej Góry, 2 km na wschód od m. Zawada i 4 km na północ od m. Jany. Obszar ujęcia

* Uniwersytet Zielonogórski; Instytut Inżynierii Środowiska; Zakład Hydrologii i Geologii Stosowanej

ograniczony jest od północy i wschodu korytem rz. Odry, od południa – krawędzią doliny Odry biegnącą wzdłuż szosy Zawada – Jany, a od zachodu szosą Zielona Góra – Zawada – Cigacice. Jego względna wysokość nie przekracza 51 m n.p.m. Teren jest płaski, o minimalnych różnicach wzniesień, pocięty licznymi rowami oraz ciekami wodnymi, z których największy (o nazwie Zimna Woda) przepływa środkiem doliny Odry, na wschód od linii ujęcia. Całkowita szerokość doliny sięga 6km i obszar ten pozbawiony jest skupisk leśnych. Analizowany teren stanowi terasa zalewowa Odry o charakterze erozyjno-akumulacyjnym [Chrzan, Hudak 2000].

Pas ujęcia rozpoczyna się około 350 m na wschód od szosy Zielona Góra – Cigacice i rozciąga się w głąb doliny na odcinku o długości 4200 m.



Rys. 1. Plan sytuacyjny Centralnego Ujęcia Wody w Zawadzie [Kraiński 1993]

Fig. 1. Map of the Central Water Intake in Zawada [Kraiński 1993]

Lokalizacja ujęcia

Uruchomienie Centralnego Ujęcia Wody w Zawadzie nastąpiło w maju 1966 r., kiedy do eksploatacji oddano 22 studnie, zlokalizowane w rozstawie co 100 m wzdłuż linii łamanej, w układzie lewarowym, o zmiennej średnicy (od $\Phi 200$ do $\Phi 400$) oraz 46 otworów obserwacyjnych. Ujęcie to, w zależności od potrzeb miasta, dawało do $16.000 \text{ m}^3/\text{d}$.

W roku 1970 nastąpił znaczny spadek wydajności ujęcia, dlatego też w roku 1971 odwiercono galerię studni zastępczych (Z). W marcu 1971 roku rozpoczęto wiercenia nowych studni. Zostały one zlokalizowane w odległości $6,6\div 11,6\text{m}$ od istniejących otworów. Wyjątek stanowi studnia Nr 17, która została wykonana w obudowie starej studni. W roku 1971 wydajność ujęcia

wynosiła około 17.500 m³/d.

W roku 1975 wydajność ujęcia spadła do około 15.000 m³/d, a w roku 1977 – 7.500÷8.500 m³/d. W wyniku sześcioletniej eksploatacji wydajność poszczególnych studni spadła do 25÷95% wartości początkowej. W związku z tym, w roku 1977 przystąpiono do przebadania drożności filtrów. Prace te dały znikome efekty, bo wydajność wzrosła zaledwie o około 4000 m³/d. W związku z tym, w 1978 roku przystąpiono do odwiercenia trzeciej galerii studni. Wszystkie studnie III-ciej galerii zostały odwiercone w odległości 5÷8 m od istniejących otworów, jedną kolumną rur o średnicy 508 mm. Wyjątek stanowi otwór Nr 16Z', który odwiercono dwoma kolumnami rur – jedną kolumną o średnicy 508 mm do głębokości 16 m i drugą kolumną o średnicy 457 mm do głębokości 33 m. Głębokość odwiercanych otworów wahała się w granicach 19,5÷33,0 m i była ściśle związana z głębokością warstwy wodonośnej.

Warunki geologiczne i hydrogeologiczne

Teren ujęcia budują utwory czwartorzędowe (holocen i plejstocen) zalegające na miąższych, miejscami znacznie zaburzonych glaciektonicznie, utworach trzeciorzędowych. Utwory trzeciorzędowe stanowią głównie ily miocenu z przerostami piasków, zwykle drobnoziarnistych, o niewielkiej miąższości oraz węgla brunatnych. Sporadycznie występują ily poznańskie – pliocen. Miąższość trzeciorzędu nie jest tu znana, przypuszczalnie wynosi około 300 m.

Czwartorzęd terenu ujęcia to głównie piaski plejstoceny różnoziarniste, od drobnych, poprzez średnioziarniste do grubych, często z domieszkami żwiru i otoczków skał północnych. Żwiry tworzą wkładki i przewarstwienia w piaskach. Poniżej warstw piaszczysto-żwirowych zalegają gliny zwałowe, utwory ilaste oraz przerosty piasków drobno- i średnioziarnistych, w formie wkładek i soczew wśród glin. Główna warstwa piaszczysta występuje zwykle bezpośrednio poniżej powierzchni terenu lub pod holocenem i posiada miąższość od kilkunastu do 25 m. Utwory holocenu zalegają tuż przy powierzchni i tworzą je gleby mady oraz piaski drobne i średnioziarniste, a także utwory ilaste. Miąższość ich nie przekracza kilku metrów, a wzdłuż linii ujęcia w większości brak ich zupełnie. Miąższość całego czwartorzędu wynosi około 50 m.

Na omawianym terenie główną warstwę wodonośną stanowią piaski różnoziarniste, występujące prawie od powierzchni terenu. Miąższość ich waha się tu od około 16 do 25 m. Jest to warstwa dość dobrze wymyta i wysortowana. Zwierciadło wody gruntowej, o charakterze swobodnym, występuje płytko (na głębokości 0,5÷1,0 m p.p.t.). Zależy to od ukształtowania terenu. Warstwa wodonośna podścielona jest utworami nieprzepuszczalnymi lub słabo przepuszczalnymi, głównie glinami zwałowymi. Utwory te nie stanowią jednolitej wy-

kształconej warstwy, lecz charakteryzują się zmiennością w wykształceniu, tak w pionie jak i w poziomie. Wśród nich, na różnych głębokościach, występują przerosty lub wkładki, czy soczewki utworów piaszczystych, w których występująca woda stabilizuje się na głębokości tej samej, co woda zasadniczej warstwy wodonośnej. Świadczy to o łączności hydraulicznej pomiędzy wszystkimi utworami czwartorzędu. Wykonana, w otworach wiertniczych niwelacja zwierciadła wody, wykazała, że ogólny kierunek przepływu wód gruntowych przebiega równolegle do osi doliny, tj. z południowego wschodu na północny zachód [Chudowski 1962].

Współczynniki filtracji wody w gruncie

Współczynniki filtracji „k” obliczono zarówno dla gruntów wokół studni galerii Z, jak i – galerii Z’. Obliczeń dokonano przy pomocy wzoru Dupuit’a dla warstw o swobodnym zwierciadle wody z jednym otworem obserwacyjnym, korzystając z następującej formuły:

$$k = \frac{0,733Q \lg \frac{x}{r}}{h_1^2 - h^2} \quad [\text{m/s}]$$

gdzie:

Q – wydajność uzyskana w czasie pompowania otworu [m^3/h];

x – odległość otworu obserwacyjnego od otworu pompowanego [m];

r – promień studni wraz z obsypką [m];

h_1 – miąższość warstwy wodonośnej w rejonie otworu obserwacyjnego [m];

h – miąższość warstwy wodonośnej w rejonie otworu pompowanego pomniejszona o wartość depresji [m].

Analiza możliwości powstawania zjawiska sufozji

Zjawisko sufozji polega na przemieszczaniu drobnych cząsteczek gruntu w porach jego szkieletu przez filtrującą wodę. Zjawisko to następuje przy przekroczeniu i_{kr} dla danego rodzaju gruntu. Przemieszczenie ziaren gruntu, będące wynikiem sufozji, powoduje lokalne zwiększenie porowatości, co sprzyja zwiększeniu intensywności filtracji [Grabowski, Pisarczyk, Obrycki 1999].

Objawem sufozji jest, np.: zmętnienie wody w początkowym okresie szczytowania jej ze studni. Opisany powyżej rodzaj sufozji nazywamy mechaniczną, w odróżnieniu od sufozji chemicznej, przy której cząstki gruntu, bądź skały są chemicznie rozpuszczalne i wymywane przez wodę.

W. S. Istomina podaje, że sufozja jest możliwa gdy:

- współczynnik filtracji $k > 0,00025$ [m/s]
- wskaźnik nierównomierności uziarnienia:

$$U = \frac{d_{60}}{d_{10}} = 10 \div 20$$

- po przekroczeniu krytycznej, dla danego gruntu, wartości spadku hydraulicznego.

Dla przypadków wyznaczania warunków powstawania sufozji w gruntach krytyczne spadki bądź krytyczne prędkości przepływu wody można obliczyć, np. ze wzoru W. Sichardta [Kowalski 1998]:

$$v_{kr} = \frac{\sqrt{k}}{15} \text{ [m/s]}$$

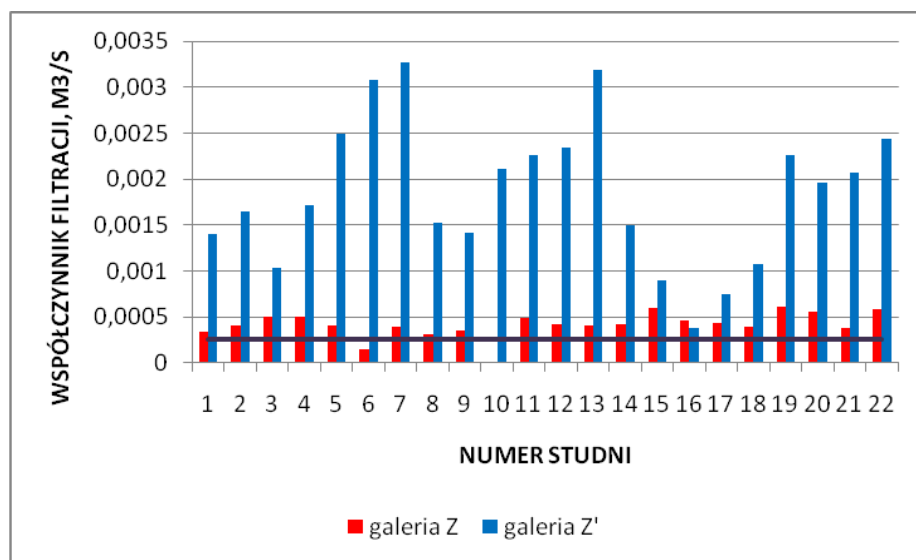
$$i_{kr} = \frac{1}{15\sqrt{k}}$$

Wartość spadku krytycznego równa jest w przybliżeniu 1, po przekroczeniu spadku krytycznego nastąpi:

- w pierwszym etapie – ruch pojedynczych cząstek gruntu (następuje wymywanie, sufozja),
- przy dalszym wzroście i_{kr} – upłynnienie całej masy gruntowej, czyli tzw. kurżawka, jako pewien szczególny stan gruntu, występujący najczęściej w gruntach pylasto-piaszczystych.

Na podstawie powyższych kryteriów powstawania sufozji gruntu stwierdzono, że:

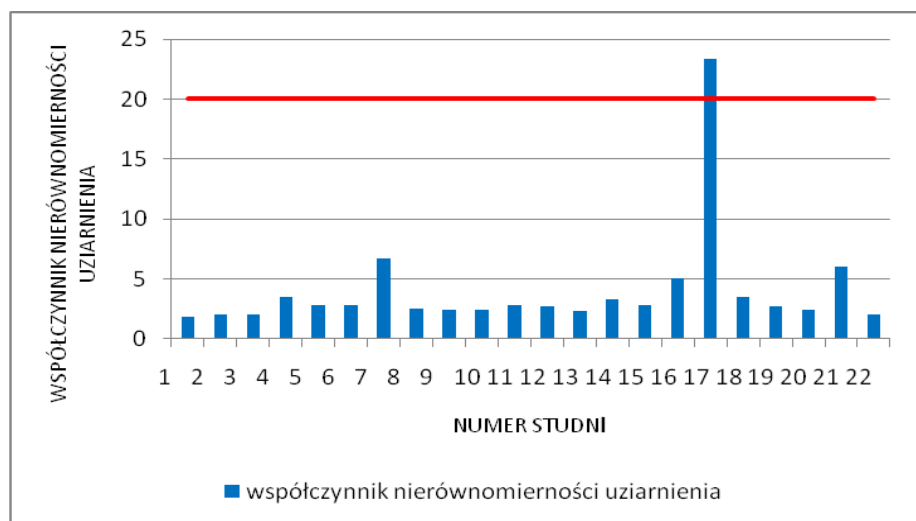
- współczynnik filtracji, gdy $k > (0,002 \div 0,00025)$ [m/s]:
 - współczynnik filtracji dla galerii Z waha się w granicach od $k=0,000144$ m/s - studnia Nr 6Z, do $k=0,000611$ m/s - studnia Nr 19Z,
 - współczynnik filtracji dla galerii Z' waha się w granicach od $k=0,00038$ m/s – studnia Nr 16Z', do $k=0,00327$ m/s – studnia 7Z'.



Rys. 2. Współczynniki filtracji wody w gruncie w studniach galerii Z i Z'
 Fig. 2. Water filtration coefficients in the ground in wells of gallery Z and Z'

Warunek ten został spełniony w studniach galerii Z', a także w studniach Z, wyjątek stanowi studnia Nr 6Z;

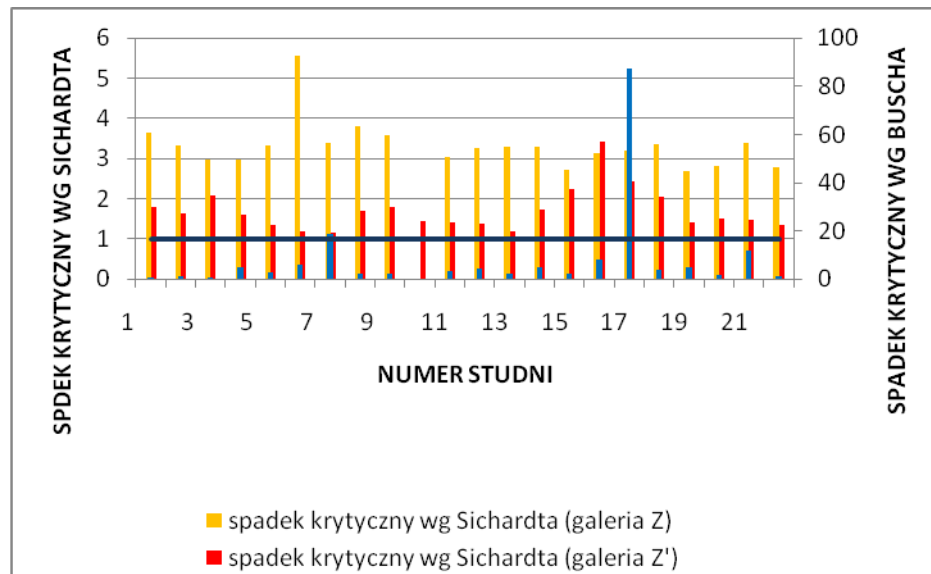
a). wskaźnik nierównomierności uziarnienia:



Rys. 3. Współczynniki nierównomierności uziarnienia gruntów występujących w poszczególnych studniach
 Fig. 3. The coefficients of ground granulation inequality occurring in individual wells

Analizując rys. 3 można stwierdzić, że warunek ten nie został spełniony. We wszystkich studniach współczynnik nierównomierności uziarnienia jest mniejszy od 10, co oznacza, że grunt jest niesufozyjny. Jedynie w studni Nr 17 – jest większy od 20 i wynosi 23,33.

c) gdy przekroczy krytyczną, dla danego gruntu, wartość spadku hydraulicznego.



Rys. 3. Wartości krytyczne spadków hydraulicznych dla poszczególnych studni
Fig. 3. Critical hydraulic falls values for the following wells

Przyjmując, że wartość spadku krytycznego równa jest w przybliżeniu 1, należy stwierdzić, że dla studni galerii Z spadki krytyczne, obliczone wg Sichardta, są większe i wahają się w granicach $2,70 \div 5,55$ – rys. 3. Dla studni galerii Z' spadki te są mniejsze i zawierają się w granicach $1,17 \div 3,42$. Natomiast krytyczne spadki obliczone ze wzoru podanego przez Buscha i Lucknera wahają się w granicach $0,75 \div 87,38$. Wartość minimalną odnotowano w studni Nr 1Z, a maksymalną w studni Nr 17Z.

Podsumowanie

Rozpatrując wyżej wymienione kryteria powstawania sufozji w gruncie można stwierdzić, że ze względu na:

- współczynnik filtracji - zjawisko to mogło występować; wyjątek stanowi grunt wokół studni Nr 7Z, Nr 17Z i Nr 21Z, gdzie spadek krytyczny znacznie przekroczył wartości graniczne;
- wskaźnik nierównomierności uziarnienia – zjawisko sufozji nie mogło występować, gdyż wartości wskaźników nierównomierności uziarnienia nie osiągały przewidywanej wartości;
- spadek krytyczny – w większości studni spadki krytyczne osiągają wartości większe od założonego.

Powyższa analiza kryteriów występowania sufozji nie pozwala w sposób całkowicie jednoznaczny wykluczyć możliwości powstawania tego zjawiska w omawianym gruncie. Ponadto, współczynniki filtracji wody w gruncie – wyznaczone tylko w miejscach odwierconych studni - nie dają pełnej charakterystyki hydrogeologicznej omawianego terenu. Taką charakterystykę mogą dać, np. współczynniki filtracji wody w gruncie, wyznaczone w odwiertach znajdujących się poza barierą studni, w strefie oddziaływania leja depresji.

Literatura

1. BUSCH K.F., LUCKNER L.: *Geohydraulik* VEB Deutscher Verlag für Grundstoffindustrie Leipzig 1972
2. CHRZAN T., HUDAK M.: *Historia ujęcia i skutki renowacji studni na Centralnym Ujęciu Wody w Zawadzie k. Zielonej Góry*. IV Międzynarodowa Konferencja „Zaopatrzenie w wodę, jakość i ochrona wód” Kraków 2000
3. CHUDOWSKI R.: *Projekt robót I etapu budowy ujęć wody dla m. Zielona Góra w Zawadzie k/Zielonej Góry*. 1962
4. GRABOWSKI Z., PISARCZYK S., OBRYCKI M.: *Fundamentowanie*. Oficyna Wydawnicza Politechniki Warszawskiej Warszawa 1999
5. KOWALSKI J.: *Hydrogeologia z podstawami geologii*. Wrocław 1998
6. KRAIŃSKI A.: *Sprawozdanie z renowacji chemicznej studni Nr 6z' i 12z'*. 1993
7. Książki eksploatacyjne studni na Centralnym Ujęciu Wody w Zawadzie k./Zielonej Góry – galeria otworów Z' – 1978.

INFLUENCE THE KIND OF SOIL FOR CONDITION EXPLOITATION WATER UNDERGROUND

Key words: water intake, suffusion, soil condition

S u m m a r y

This washing through stream of land water moving with definite speed from lands basis of the smallest particles of soil suffusion. The dislocation of primes grains causes local porosity enlargement. It favours then the enlargement the intensity of filtration. It the test of analysis of possibility formation of phenomenon in article was undertaken was sufozji on terrain of Central Water Intake in Zawada near Zielona Góra.

ARKADIUSZ ROJNA*
DARIA BŁASZCZYK**

BADANIE WSPÓŁCZYNNIKA FILTRACJI GRUNTÓW

Streszczenie

Jednoznaczne wyznaczenie współczynnika filtracji gruntu za pomocą wyłącznie jednej metody i praktyczne wykorzystanie wyników badań do celów inżynierskich, jest procesem niezwykle trudnym i może przysporzyć użytkownikowi obiektu budowlanego mnóstwo poważnych problemów oraz konsekwencji prawnych. Dlatego podjęto próbę zmierzającą do określania wartości współczynnika filtracji gruntów metodami polowymi i laboratoryjnymi.

Słowa kluczowe: współczynnik filtracji, wodoprzepuszczalność gruntu

Wprowadzenie

W 1856 r. francuski inżynier Henry Philibert Gaspard Darcy w swojej publikacji pt. „Les fontaines publiques de la ville de Dijon” przedstawił praktyczne rozwiązania zaopatrzenia w wodę miejscowości Dijon we Francji. Zawarte w niej wyniki badań wodoprzepuszczalności frakcji gruntów piaszczystych przez pionową kolumnę dały podstawy do stworzenia i używania do dnia dzisiejszego słynnego Prawa Darcy [Darcy 1856].

Prawo Darcy było i wciąż jest inspiracją dla innych znakomitych teoretyków i praktyków zgłębiających problematykę ruchu wody w gruncie. Byli to m. in.: Juliusz Weisbach i Philipp Forchheimer. Wykonane przez nich doświadczenia przyniosły wymierne korzyści w postaci wyników prac badawczych nad wodoprzepuszczalnością i współczynnikiem filtracji gruntów. Eksperymentowania te dały podstawy do stworzenia wzorów i praw, jak również przedstawiły szersze poznanie zjawisk oraz zasad rządzących środowiskiem gruntowo-wodnym dla ich praktycznego wykorzystania inżynierskiego.

* doktorant Instytutu Inżynierii Środowiska, Uniwersytet Zielonogórski

** studentka kierunku Inżynierii Środowiska, Instytutu Inżynierii Środowiska, Uniwersytet Zielonogórski

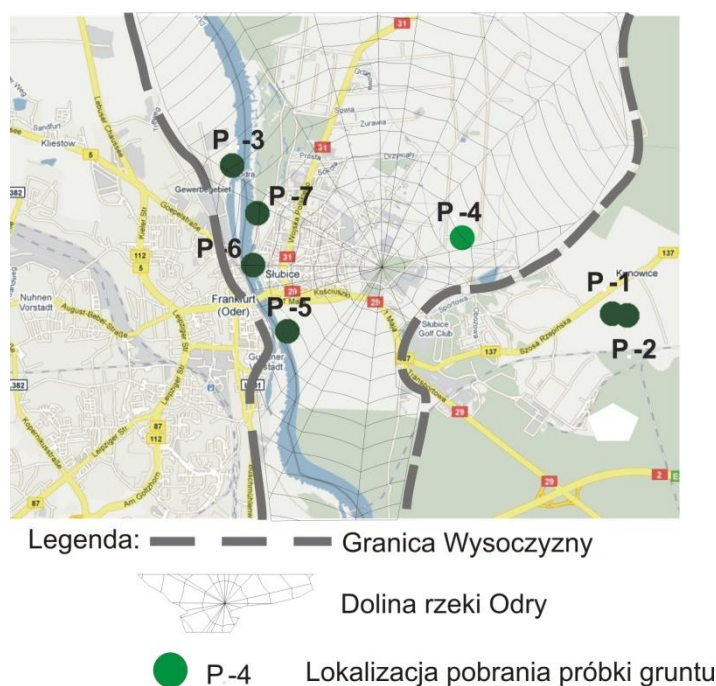
Prawo Darcy dało podstawy do rozwoju m.in. hydrauliki, hydrologii, hydrogeologii i mechaniki płynów [Lohman 1979], [Kulma 1995], [Chapuis 2003].

Teren badań

Lokalizacje miejsc pobrania próbek do badań zostały wytypowane tak, aby swoim zakresem obejmowały grunty mineralne, niespoiste pochodzące z różnych utworów geologicznych.

Grunty pochodziły z terenu zaliczanego do makroregionu Pojezierza Wielkopolskiego, mezoregionu Równiny Torzyskiej Wysoczyzny Lubuskiej, krąwędzi Wysoczyzny Lubuskiej oraz lewo i prawo brzeżnej doliny rzeki Odry Lubuskiego Przełomu Odry. Dokładna lokalizacja miejsc pobrania próbek gruntów została przedstawiono na rys. 1.

Punkty P-1 i P-2 znajdowały się po prawej stronie rzeki Odry na terenie Wysoczyzny Lubuskiej. Natomiast pozostałe miejsca zlokalizowano w Dolinie Odry. Punkt P-3 analizowano na lewobrzeżnej stronie rzeki.



Rys. 1. Miejsca pobrania próbek gruntu do badań

Fig. 1. Places of taking samples of ground

Cel i metodyka badań

Celem badań było określenie składu granulometrycznego gruntów i wyznaczenie wartości współczynnika filtracji.

W związku z powyższym zaistniała konieczność przeprowadzenia szeregu badań terenowych i laboratoryjnych pomocnych do wyznaczenia współczynnika filtracji gruntów. Dokonano wyboru metod za pomocą których uzyskane wyniki analiz przyniosłyby wymierne efekty.

W miesiącach VIII÷XII 2009 r. przeprowadzono szereg badań polowych i laboratoryjnych. Pobrano 7 próbek gruntu mineralnego, niespoistego.

W badaniu filtracji zastosowano metody polowe: metoda Maaga i zalewania dołów chłonnych (Kamieńskiego) oraz laboratoryjne: analiza granulometryczna i rurki Kamieńskiego. W tych systemach dokonano szeregu pomiarów zmian zwierciadła i wydatku przepływającej wody przez próbki gruntów o nienaruszonej strukturze (NNS).

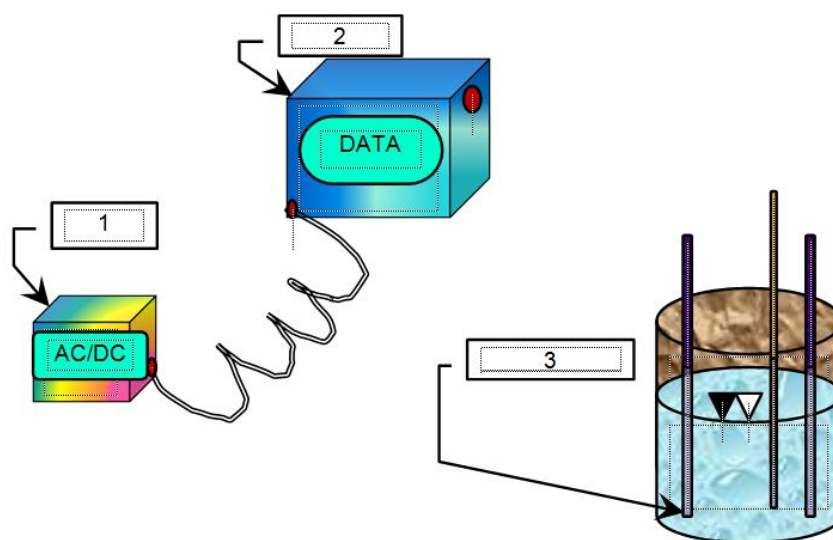
Podczas wykonywania badań terenowych i laboratoryjnych korzystano z aparatury Zakładu Hydrologii i Geologii Stosowanej Uniwersytetu Zielonogórskiego oraz za pomocą samodzielnie skonstruowanej instalacji kontrolno-pomiarowej. W skład oprzyrządowania wchodziły: świder ręczny i wyskalowany cylinder z rury PCV, będące elementami badań polowych (rys.2) oraz aparat ITB ZWK-2, rurki Kamieńskiego, wytrząsarka z kompletem sit dla obserwacji laboratoryjnych. Do tych urządzeń został podłączony osprzęt kontrolno-pomiarowy, tj.: sondy hydrostatyczne i objętościowe oraz rejestrator danych i źródło zasilania (rys.3).

Uzyskane wyniki rejestrowane były automatycznie w celu wyeliminowania grubych błędów pomiarowych [Batu 1998]. Każdorazowy pomiar na pojedynczej próbce gruntu metodami polowymi i laboratoryjnymi wykonywany był trzykrotnie.

Każdą próbkę gruntu indywidualnie podzielono, tak aby była reprezentatywna, a następnie zważono i wysuszono w temperaturze $105\div 110^{\circ}\text{C}$ w czasie 24 h. Po wysuszeniu próbkę powtórnie zważono i poddano analizie sitowej postępując zgodnie z normami. Następnie część gruntu umieszczono w dwóch rurkach Kamieńskiego, zagęszczono ubijakiem i dokonano pomiarów zmian poziomu zwierciadła wody wraz z ilością przepływającej wody przez próbkę. Wyniki uzyskane za pomocą równoległych pomiarów na kolumnach arytmetycznie uśredniono. Za pomocą aparatu ITB ZWK-2 przeprowadzono badania gruntów w dwóch wariantach, tj.: przy przepływie wody przez grunt w kierunku pionowym od dołu i góry z jednoczesnym pomiarem ilościowo-wagowym wody przepływającej przez próbkę [Wiłun 2008].



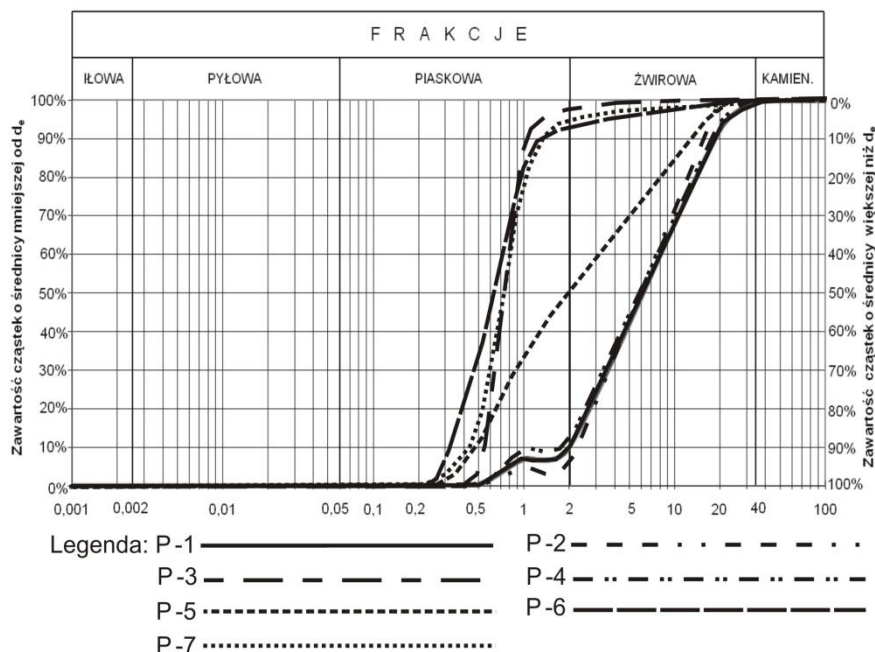
Rys. 2. Stanowisko kontrolno-pomiarowe w Dolinie Odry, punkt P-4
Fig. 2. Control and measurement positioning Odra Valley, point P-4



Rys. 3. Schemat stanowiska kontrolno-pomiarowego
Fig. 3. Scheme of control and measurement position

Wyniki

Obliczenia współczynnika filtracji gruntów przeprowadzono w oparciu o analizę granulometryczną (rys. 4).



Rys. 4. Krzywe uziarnienia gruntu, próbki P-1÷7

Fig. 4. Grain size distribution curve, samples P-1÷7

Analizując próbki gruntu P-2 i P-4 stwierdzić można, że współczynnik filtracji obliczony na podstawie wzorów Hazena i amerykańskiego uzyskuje zbliżone wartości (tab.1). Natomiast w próbkach P-1, P-2, P-4, P-6 i P-7 wartości współczynnika filtracji różnią się o rząd wielkości. W skrajnych przypadkach wartości te są od 4÷10 razy większe dla próbek gruntu P-4 i P-5.

W gruncie P-5 obliczenie współczynnika filtracji wzorem Hazena przy wskaźniku różnoziarnistości $U > 5$ nie stosuje się ze względu na znaczne zawyżanie wyników analiz i współczynnika nierównomierności uziarnienia [Pazdro, Kozerski 1990].

Tab. 1. Wartości współczynnika filtracji gruntów
 Tab. 1. Values of filtration coefficient of ground

Według wzoru	Współczynnik filtracji [m/s]						
	P-1	P-2	P-3	P-4	P-5	P-6	P-7
Hazena	0,0185	0,0490	0,0039	0,0334	0	0,0009	0,0025
USBSC-amerykański	0,0354	0,0417	0,0011	0,0324	0,0013	0,0004	0,0008
Seelheima	0,1372	0,1243	0,0019	0,1243	0,0116	0,0014	0,0019

Wskaźnik różnoziarnistości dla gruntu P-5 wynosi $U=6,7$. Rozbieżność poszczególnych wartości współczynnika filtracji gruntów wynika również z wielkości średnic zastępczych uzyskanych w analizie granulometrycznej.

Wnioski

Uzyskane wyniki w toku przeprowadzonych badań metodami polowymi i laboratoryjnymi pozwoliły na głębsze poznanie praw rządzących procesem filtracji, współczynnikiem filtracji, wodoprzepuszczalności oraz porównanie ich z rezultatami ludzi zgłębiających owe zagadnienia.

Metodami laboratoryjnymi dla próbek gruntów P-1÷P-7 otrzymano wartości od $1,15 \cdot 10^{-3} \div 3,61 \cdot 10^{-2}$, natomiast polowymi od $2,98 \cdot 10^{-3} \div 3,65 \cdot 10^{-2}$ (tab. 2).

Wyniki próbek P-3, P-6 i P-7 różnią się trzykrotnie w stosunku do rodzaju metod. Dla metod polowych uzyskano wyższe wartości współczynnika filtracji, a zatem większej wodoprzepuszczalności i wydatku jednostkowego.

Grunty P-1 i P-2 charakteryzują się różnymi wartościami współczynnika filtracji nawet o rząd wielkości. Dla próbki P-1 wyniki analiz różnią się siedmio i półkrotnie, a P-2 blisko dziewięciokrotnie.

Jedynymi uzyskanymi wartościami zbliżonymi są próbki gruntów P-4 i P-5, gdzie różnica wyników waha się w granicach 14 %.

Tab. 2. Wartości współczynnika filtracji gruntów
 Tab. 2. Values of filtration coefficient of ground

Metoda	Próbka [m/s]						
	P-1	P-2	P-3	P-4	P-5	P-6	P-7
Laboratoryjne	0,02241	0,03613	0,00175	0,0322	0,01305	0,00115	0,00127
Polowe	0,00298	0,00414	0,00561	0,0365	0,01481	0,00344	0,00425

Literatura i normy

1. DARCY H.: *Les fontaines publiques de la ville de Dijon*, 1856
2. LOHMAN W.: *Ground-Waters hydraulics*, Washington, 1979
3. KULMA R.: *Podstawy obliczeń wód podziemnych*, Wyd. AGH, Kraków, 1995
4. CHAPUIS R.P.: AUBERTIN M., *Predicting the coefficient of permeability of soils using the Kozeny – Carman equation*, Montreal, 2003
5. BATU V.: *Aquifer Hydraulics. A Comprehensive Guide to Hydrogeologic Data Analysis*. NewYork, Chichester, Weinheim ,Brisbane, Suqappre, Toronto, John Wiley & Sons Inc., 1998
6. WILUN Z.: *Zarys geotechniki*, Wyd. Komunikacji i Łączności, Warszawa, 2008
7. PAZDRO Z., KOZERSKI B.: *Hydrogeologia ogólna*. Warszawa, Wyd. Geolog, 1990
8. PN-88/B-04481, *Grunty budowlane, badanie próbek gruntu*
9. PN-86/B-02480, *Grunty budowlane, określenia, symbole, podział i opis gruntów*
10. PN-EN ISO 14688-1, *Badania geotechniczne. Oznaczanie i klasyfikowanie gruntów. Część 1: Oznaczanie i opis*
11. PN-EN ISO 14688-1, *Badania geotechniczne. Oznaczanie i klasyfikowanie gruntów. Część 2: Zasady klasyfikowania*

EXAMINATION OF PERMEABILITY COEFFICIENT OF GROUND

S u m m a r y

Explicit appointing the rate of permeability coefficient of ground behind the help of exclusively one method and practical using results for engineering destinations, is an unusually difficult process and can for the user a plenty serious problems of the building object and legal consequences. Therefore an aiming attempt was taken to appointing the values of permeability coefficient of ground with field and laboratory methods.

Key words: permeability coefficient, ground permeability

ANNA NOWAK, SZYMON MODRZEJEWSKI*

**OGÓLNA CHARAKTERYSTYKA
STANU ZAGOSPODAROWANIA PRZESTRZENNEGO
ORAZ UWARUNKOWAŃ ŚRODOWISKOWYCH
W REJONIE ZŁOŻA WĘGLA BRUNATNEGO GUBIN**

Streszczenie

W artykule przedstawiono charakterystykę stanu zagospodarowania obszaru złoża węgla brunatnego Gubin obejmującą sposób użytkowania gruntów, techniczną infrastrukturę naziemną i podziemną, oraz istniejące i projektowane ze względu na walory przyrodnicze rejony chronione. Opisane dane stanowią uwarunkowania określające możliwości ewentualnego podjęcia eksploatacji węgla brunatnego w rejonie Gubina.

Słowa kluczowe: zagospodarowanie powierzchni terenu, uwarunkowania środowiskowe, złożo Gubin, węgiel brunatny

Wstęp

Wielokrotnie podejmowano już temat możliwości eksploatacji złoża węgla brunatnego Gubin. W ramach projektu foresight pt. „Scenariusze rozwoju technologicznego przemysłu wydobywania i przetwórstwa węgla brunatnego”, koordynowanego przez Poltegor-Institut wykonano szereg prac badawczych uściślających warunki zalegania i jakość zasobów węgla brunatnego w poszczególnych polach złoża Gubin. Przeprowadzona analiza wykazała, że może ono być zaliczone do większych złóż węgla brunatnego w Polsce.

Budowa kompleksu wydobywczo-energetycznego wiąże się z koniecznością zajęcia wielkich przestrzeni, obejmujących zarówno obszar samego złoża jak i terenów poza nim, niezbędnych dla lokalizacji zwałowisk nadkładu, zaplecza technicznego kopalni, systemu taśmociągów do transportu nadkładu i urobku oraz elektrowni i systemu wyprowadzania energii elektrycznej. Tereny przeznaczone pod przyszłą inwestycję cechują się zmiennym stopniem zagospodarowania - występują tu wsie o różnej funkcji i przeznaczeniu, infrastruktura techniczna zarówno naziemna jak i podziemna.

* Poltegor-Institut Instytut Górnictwa Odkrywkowego Wrocław

W artykule przedstawiono, w sposób skrótowy, przedmiotową charakterystykę obejmującą obszary znajdujące się w rejonie złoża węgla brunatnego Gubin.

Dane ogólne

Złoże węgla brunatnego Gubin jest położone w zachodniej części województwa lubuskiego w powiatach krośnieńskim i żarskim, na obszarze gmin Gubin oraz Brody. Zachodnią granicę złoża wyznacza Nysa Łużycka, stanowiąca jednocześnie granicę państwową z Republiką Federalną Niemiec. Ze względu na obecność obszarów bezwęglowych, w złożu Gubin wydzielono cztery pola: Strzegów, Mielno-Brzozów, Węgliny i Sadzarzewice, łącznie udokumentowane zasoby bilansowe złoża Gubin, wg „Bilansu zasobów kopalin i wód podziemnych”, określa się na 282 664 tys. Mg. Analiza budowy poszczególnych pól złoża Gubin, wykonana w 2009 r. przez Poltegor-Institut Instytut Górnictwa Odkrywkowego we Wrocławiu, szacuje je jednak na 952,7 mln Mg (tab. 1). Zasoby węgla obliczone zostały zgodnie z kryteriami bilansowości dla złóż węgla brunatnego. Obliczenia wykonano wykorzystując Bazę Danych Geologicznych złoża Gubin, do której wprowadzono dane z 1096 otworów wiertniczych (w bazie znajdują się również karty otworów wiertniczych z dokumentacji, w której nie zatwierdzono zasobów geologicznych).

Tab. 1 Zasoby węgla brunatnego poszczególnych pól złoża Gubin w granicach współczynnika N:W 12:1 obliczonego dla węgla o miąższości 3,0 m [Bednarczyk et al. 2009]
Tab. 1. Lignite deposits resources of the Gubin individual fields within the co-factor of N:W 12:1 calculated for the coal thickness of 3.0 m [Bednarczyk et al. 2009]

Złoże Gubin	Pole powierzchni [ha]	Zasoby [mln Mg]
Pole Strzegów	1 756.1	130.87
Pole Mielno – Brzozów	1 134.9	193.64
Pole Węgliny	1 508.0	344.86
Pole Sadzarzewice	3 057.8	283.3
Suma pól	7 456.9	952.67

Hydrografia. Analizowany obszar znajduje się w zlewni Nysy Łużyckiej. Tereny zalewowe wraz z obszarami zagrożonymi powodzią zajmują około 2200 ha. Warunki wodne i hydrograficzne kształtuje w obrębie złóż dość gęsta sieć. Występuje tu również duża ilość kanałów i rowów melioracyjnych, często o charakterze okresowym. Szerokość koryta Nysy Łużyckiej, w rejonie wynosi około 15-20 m, a głębokość waha się od kilkudziesięciu centymetrów do kilku metrów. Prawymi jej dopływami, w analizowanym rejonie, są: Ilna, Mała Mły-

nówka, Ładzica (wraz z kanałem Sadzarzewice-Węgliny), Wodra (Werdawa), Lubsza (Lubisza). W zlewniach Wodry (południowy rejon Pola Sadzarzewice oraz wschodni rejon złoża Węgliny) oraz Ładzicy (południowy rejon Pola Węgliny) znajdują się niewielkie obszary zdrenowane. Na niektórych odcinkach Nysy Łużyckiej utworzono wały przeciwpowodziowe, a w okolicach Wielotowa, brzegi rzeki Wodry i Starej Werdawy objęto systemem zabudowy hydrotechnicznej. Poziom dwóch rzek regulowany jest za pomocą jazów (Wodra – 3 jazy, Lubsza – 1 jaz), natomiast Nysy Łużyckiej za pomocą zapór zlokalizowanych poniżej ujścia Małej Młynówki oraz w rejonie miejscowości Sadzarzewice. Na terenie złoża występuje 6 zbiorników. Największym z nich jest Jezioro Suchodół znajdujące się w południowej części pola Węgliny. Zajmuje ono powierzchnię 31,5 ha a maksymalna głębokość określana jest na 1,7 m. W pobliżu Markosic znajduje się zbiornik po eksploatacji kruszyw, a pozostałe trzy są typowymi jeziorami i stawami leśnymi. Zwierciadło wód podziemnych pierwszego poziomu wodonośnego w Polach Strzegów, Sadzarzewice oraz Węgliny zawiera się w granicach 1-5 m i ściśle nawiązuje do topografii terenu. W polu Mielno Brzozów, w południowo-wschodniej i wschodniej jego części, przekracza ono 10 m.

Tab. 2 Użytkowanie gruntów na terenie poszczególnych pól złoża węgla brunatnego Gubin [opracowanie własne IGO Poltegor]

Tab. 2. Land use in the various fields of Gubin brown coal deposits [IGO Poltegor own work]

Złoże Gubin	Grunty orne [ha]		Łąki / pastwiska [ha]	Lasy [ha]	Pozostałe* [ha]	Razem Złoże Gubin [ha]
	chronione	pozostałe				
Pole Sadzarzewice	610.5	546.7	191.2	706.4	87.7	2 142.4
Pole Strzegów	219.1	159.5	160.9	531.7	63.7	1 134.9
Pole Mielno-Brzozów	19.2	210.9	136.8	1 104.1	37.0	1 508.0
Pole Węgliny	728.3	340.6	868.4	709.3	25.0	2 671.5
Razem złoże Gubin	1 577.1	1 257.7	1 357.3	3 051.5	213.4	7 456.9
* jako Pozostałe rozumie się tereny pod zabudowaniami, wody i inne grunty użytkowe oraz nieużytki						

Użytkowanie gruntów. Grunty najwyższych klas bonitacyjnych znajdują się głównie w dolinie Nysy Łużyckiej (zachodnie rejon pola Sadzarzewice i Strzegów), a ponadto w rejonie wsi Koperno, Grabice i Luboszyce oraz Wę-

gliny, Kumiałtowice i Datyń (rejon pola Węgliny). Lasy największą powierzchnię zajmują na terenie pola Mielno-Brzozów (36%), najmniejszą zaś na terenie pola Strzegów (17%). Największy udział łąk i pastwisk w użytkach rolnych stwierdza się na obszarze pola Węgliny, gdzie wynosi 64%, są one zlokalizowane głównie w rejonie rzeki Ładzicy i Wodry. Szczegółowo sposób użytkowania gruntów w poszczególnych polach złożowych zestawiono w tabeli 2.

Sytuacja demograficzna. Gęstość zaludnienia w Gminie Gubin wynosi 20 os./km² a w Gminie Brody 15 os./km² i w porównaniu do wskaźnika dla województwa lubuskiego, gdzie wynosi 73,6 os./km² są one niske (dla Polski – 124 os./km²). Liczba ludności nie ulega znaczącym zmianom, natomiast w ostatnich latach zauważalne jest zmniejszanie się liczby osób w wieku przedprodukcyjnym. Najliczniejszymi miejscowościami prezentowanego obszaru są: Datyń (258), Grabice (302 osoby), Koło (330 osób) oraz Strzegów (295 osoby). W 12 miejscowościach rejonu złoża liczba ludności zawiera się w przedziale 100 do 200 osób, a w czterech wynosi poniżej 100 mieszkańców.

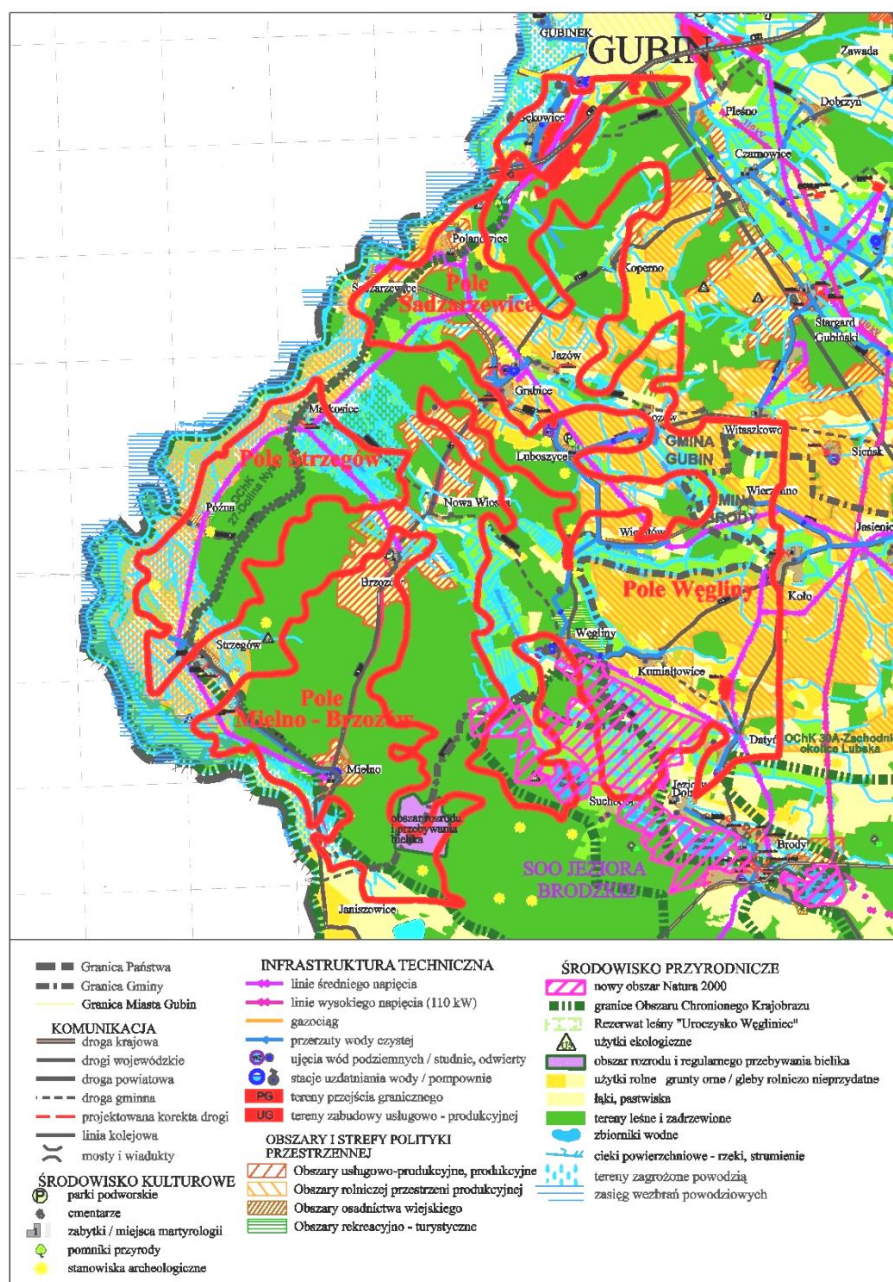
Charakterystyka terenu i obiekty gospodarskie, liniowe, przemysłowe

Zabudowa osadnicza. Sieć osadniczą na obszarze złoża tworzy 20 jednostek wiejskich, z czego bezpośrednio na złożu znajduje się 17. Dominuje przedwojenna zabudowa zagrodowa. Budynki charakteryzują się w większości złym i średnim stanem technicznym. Występuje tu kilka ośrodków produkcji rolnej, w przeważającej części już nie funkcjonujących. Na całym rozpatrywanym obszarze ilość budynków zanumerowanych nie przekracza 700.

Zabytki. Na obszarze złoża Gubin występują 22 obiekty wpisane do krajowego rejestru zabytków. Stanowią je głównie kościoły, pałace oraz parki. Ponadto na obszarze złoża istnieje kilkadziesiąt stanowisk archeologicznych.

Drogi. Łączna długość dróg istniejących na obszarze złoża Gubin wynosi 62,6 km, z czego 1,6 km to droga krajowa (nr 32), 12,1 km – drogi wojewódzkie (285, 286), 31 km – drogi powiatowe a pozostałe to drogi gminne.

Linie kolejowe. Przez teren złoża przebiega nieczynna linia kolejowa łącząca Lubsko z niemiecką miejscowością Guben. Przecina ona pole Sadrzarzewice w północnej części.



Rys. 1. Uwarunkowania środowiskowe zagospodarowania przestrzennego w rejonie złoza Gubin [opracowanie własne IGO Poltegor]

Fig. 1. Environmental conditions of spatial development in the area of Gubin deposits [IGO own work Poltegor]

Analiza stanu istniejącego infrastruktury technicznej

Ujęcia wody i sieć wodociągowa. Analizowany obszar posiada dobrze rozwiniętą sieć wodociągową. Woda dostarczana jest do wszystkich miejscowości. W tabeli 3 zestawiono najważniejsze dane dotyczące urządzeń sieci wodociągowej w obrębie poszczególnych pól złożowych

Odprowadzanie ścieków. W większości miejscowości rozpatrywanego obszaru nie mają rozwiązanej gospodarki ściekami bytowo-gospodarczymi. Obecnie skanalizowane są tylko trzy miejscowości (Gubin, Brody i Sękowice) oraz przejście graniczne w Gubinku. Na obszarze złoża brak jest sieci kanalizacyjnej; ścieki bytowe odprowadzane są do przydomowych szamb. Na obszarze Gminy Brody (południowo-wschodnia część złoża Gubin) w Jeziorach Dolnych, planowana jest budowa grupowej oczyszczalni biologicznej wraz z systemem kanalizacji sanitarnej dla całej gminy. Przewidywana przepustowość tej oczyszczalni wynosić będzie około 410,0 m³/dobę.

Sieć gazowa. Gazociąg przesyłowy wysokiego ciśnienia przebiega na północ od złoża Gubin, wzdłuż bocznic kolejowej położonej pomiędzy Gubinkiem a Sękowicami, następnie skręca na północ w kierunku centrum miasta Gubin, które jest głównym odbiorcą. Przez obszar gminy wiejskiej Gubin przebiega wyłącznie sieć przesyłowa. Łączna długość sieci gazowej wynosi obecnie 1,48 km a korzysta z niej zaledwie 317 osób. Na obszarze złoża brak jest sieci gazowej.

Sieć energetyczna. Podmiotem odpowiedzialnym za dystrybucję energii elektrycznej na analizowanym obszarze jest ENEA Operator Sp. z o.o. Zapotrzebowanie na energię elektryczną pokrywane jest z Elektrowni Wodnej Dychów oraz z Krajowego Systemu Elektroenergetycznego ze stacji GSZ Leśniów. Wszystkie miejscowości omawianego rejonu mają doprowadzoną energię elektryczną za pośrednictwem linii średnich i niskich napięć. W tabeli 3 orientacyjnie podano długości linii na poszczególnych polach złożowych, bowiem ścisłe zależności między nimi powodują, że większość linii napięciowych w południowej i zachodniej części złoża nie może istnieć bez linii położonych w północno-wschodniej części.

Gospodarka odpadami. Na analizowanym obszarze nie występują eksploatowane składowiska komunalne. Najbliższe komunalne składowisko odpadów znajduje się na północny wschód od Gubina, w rejonie miejscowości Drzeńsk Mały.

Tab. 3 Zestawienie długości linii energetycznych oraz urządzeń sieci wodociągowej w poszczególnych polach złoża węgla brunatnego Gubin [opracowanie własne IGO Poltegor]

Tab. 3. The length of power lines and water supply network equipment in the various fields of Gubin brown coal deposits [IGO Poltegor own study]

Złoże Gubin	Sieć energetyczna	Sieć wodociągowa			
	Długość sieci rozdzielczej średnich napięć [km]	Długość sieci rozdzielczej [km]	Ilość studni [szt]	Ilość pompowni [szt]	Ilość stacji uzdatniania wody [szt]
Pole Sadzarzewice	10.2	7.5	9	2	1
Pole Strzegów	8.0	1.5	4	-	0
Pole Mielno-Brzozów	2.9	2.7	2	-	1
Pole Węgliny	10.6	8.6	5	-	0
Razem	31.7	20.4	20	2	2

Uwarunkowania związane z potrzebami i możliwościami rozwoju

Zarówno gmina Gubin jak i gmina Brody, ze względu na strukturę zatrudnienia, zaliczane są do gmin z przewagą funkcji rolniczo-przemysłowych. W Studium [Jaskułowski i in. 2003] podkreślono, że w południowej części Gminy Gubin, a więc na analizowanym obszarze złóż gubińskich, istotną funkcję gospodarczą spełnia rolnictwo. Ze względu na fakt, iż w tej części przeważają stosunkowo dobre gleby, występuje tu znaczna część obszarów i stref polityki przestrzennej zakwalifikowanej jako obszary rolniczej przestrzeni produkcyjnej również z ekologicznym rolnictwem.

Stosunkowo duża część obszarów zakwalifikowana została do obszarów usługowo-produkcyjnych (które również mogą być przeznaczone pod zabudowę). Dużą grupą terenów przeznaczonych dla przemysłu są rejon w pasie wyznaczonym przez miejscowości Grabice, Nowa Wioska i Brzozów oraz wzdłuż drogi wojewódzkiej nr 286.

Zgodnie ze strategią rozwoju województwa lubuskiego opisywany obszar należy do Transgranicznego Pasma Przyspieszonego Rozwoju Miast nad Odrą i Nysą Łużycką. Tereny skupione przy moście granicznym „Gubinek” w Sękowicach oraz wzdłuż drogi nr 32 stwarzają dogodne tereny do tworzenia małych i średnich przedsiębiorstw [Jaskułowski i in. 2003]. Istotnym ułatwie-

niem w inwestowaniu na tym terenie jest pełna infrastruktura sieciowa – woda, kanalizacja, gaz oraz linie średniego napięcia.

Należy zaznaczyć, że Rada Gminy Gubin zdecydowała o przystąpieniu do sporządzenia miejscowego planu zagospodarowania przestrzennego gminy Gubin, obejmującego tereny położone w obrębach: Bieżyce, Pleśno, Żenichów, Wałowic oraz Stargardu Gubińskiego, których celem było przygotowanie terenu dla elektrowni wiatrowych z obszarem oddziaływania oraz określenie przeznaczenia i warunków zagospodarowania terenów objętych planem (Obwieszczenie Wójta Gminy Gubin z dnia 05 maja 2008 r.). W mediach podawana była informacja, że na wymienionych terenach, łącznie miałyby powstać około 70 wiatraków. Obecnie brak jest informacji na ten temat. Również w przyjętej w 2009 r. „Polityce energetycznej Polski do 2030 r.” brak jest jakichkolwiek informacji o budowie elektrowni wiatrowych w tym rejonie.

Analiza stanu środowiska naturalnego

Charakterystyka ogólna szaty roślinnej w tym zieleni urządzonej. Obszary leśne rejonu złoża w całości podlegają Nadleśnictwu Gubin pod zarządem Regionalnej Dyrekcji Lasów Państwowych w Zielonej Górze. Lasy zajmują 41% powierzchni całego złoża. W ich strukturze dominują siedliska borowe, w szczególności suchego i świeżego, w mniejszym stopniu boru mieszanego. W rejonie pól złożowych dominuje sosna zwyczajna (90% drzewostanu), w mniejszości występują brzoza, dęby oraz olcha. Średni wiek drzewostanu wynosi od 50 do 52 lat (III klasa wieku). Uszkodzenia drzewostanu określone zostały jako średnie. Na omawianym obszarze dominują lasy o przeznaczeniu gospodarczym, wyjątek stanowią lasy wodochronne położone поблизу Nysy Łużyckiej [Zubik i in. 2006, Musialik i Misiałkiewicz 2006].

Formy ochrony przyrody. W rejonie analizowanego obszaru występują części objęte różnymi formami ochrony przyrody. Wśród nich wyróżnić można dwa obszary chronionego krajobrazu, jeden rezerwat przyrody, użytki przyrodnicze oraz pomniki przyrody.

Na południe od Sękowic, w Dolinie Nysy Łużyckiej obejmującej koryto rzeki Nysy Łużyckiej, strefę zalewową, poldery nadzalewowe, starorzecza, zarośla wierzbowe, podmokłe łąki oraz fragmenty lasu sosnowego utworzono w 2005 r. Obszar Chronionego Krajobrazu „27-Dolina Nysy”. Łączna jego powierzchnia wynosi 3216 ha. Swoim zasięgiem obejmuje on zachodnie części pól Strzegów i Sadzarzewice oraz południowy fragment pola Mielno Brzozów. Drugim Obszarem Chronionego Krajobrazu rejonu jest utworzony w 2005 roku OChK „30A-Zachodnie okolice Lubska” o łącznej powierzchni 17537 ha. Położony jest on na południowy-wschód od analizowanych złóż. W jego zasięgu nie znajduje się niewielki fragment pola Węgliny.

W południowej części złoża znajduje się utworzony w 1987 r. rezerwat leśny „Uroczysko Węglińskie”. Obszar ten, o powierzchni 6,82 ha, stanowi ochronę wielogatunkowych lasów liściastych ze zróżnicowaną florą i fauną (65 gatunków roślin naczyniowych, 7 gatunków mszaków, 22 gatunki ptaków lęgowych, m.in. siniak, mysikrólik, ropucha szara, żaba moczarowa, zaskroniec zwyczajny). Wiek rosnących tam buków i dębów szacuje się na 100-200 lat [Zubik i in. 2006, Musialik i Misiakiewicz 2006].

W rejonie pola Mielno-Brzozów (południowa część) w roku 2005 Wojewoda Lubuski decyzją nr RŚ.V.W.Tel.6631-2-246/05 ustalił granice rozrodu i regularnego przebywania bielika.

Na analizowanym obszarze znajduje się w sumie siedem użytków ekologicznych. Cztery z nich znajdują się na terenie złoża Gubin: użytki ekologiczne „Stawy” i „Nysa” na polu Mielno-Brzozów, „Polana” na polu Sadzarzewice a „Moczary” w obszarze pola Węgliny [Zubik i in. 2006, Musialik i Misiakiewicz 2006].

Na stronach Ministerstwa umieszczona została lista nowych obszarów Natura 2000, przesłanych 30 października 2009 roku do Komisji Europejskiej (a więc od tej chwili w pełni chronionych). Termin ich zatwierdzenia przez Komisję Europejską przewidziany jest najwcześniej na koniec 2010 r. Na liście umieszczono m.in. 3 nowe obszary znajdujące się поблизу złoża: SOO Uroczyska Borów Zasieckich, SOO Mierkowskie wydmy oraz SOO Jeziora Brodzkie, przy czym ostatnie z wymienionych obszarów znajduje się bezpośrednio na terenie złoża Gubin, w południowej części pola Węgliny.

Podsumowanie

Na terenach złoża węgla brunatnego Gubin, rozważanych pod kątem ewentualnej inwestycji, występują wsie o różnej funkcji i przeznaczeniu, lasy, oczka wodne, drogi powiatowe, gminne, sieci energetyczne wraz ze stacjami transformatorowymi, gazociągi, wodociągi, kanalizacja, obiekty zabytkowe i parki krajobrazowe.

Tereny rolne zajmują ok. 40% powierzchni, poza tym występują lasy, łąki oraz sieć rzeczna.

Pod względem przyrodniczym najcenniejszym obszarem jest ekosystem rzeki Nysa Łużycka wraz z kompleksami. Są to tereny o stosunkowo niewielkim stopniu przekształcenia. Istniejące formy ochrony przyrody świadczą o występowaniu cennych przyrodniczo terenów o dobrze zachowanych cechach środowiska naturalnego, tj. użytki ekologiczne, obszary chronionego krajobrazu, pomniki przyrody. Problemem przy ewentualnie planowanej przyszłej inwestycji mogą okazać się nowe obszary Natura 2000, a w szczególności obszar

SOO Jeziora Brodzkie oraz ustanowiony Obszar Chronionego Krajobrazu „27-Dolina Nysy”.

Na opisywanym terenie nie są w tej chwili planowane większe inwestycje. Należy zwrócić uwagę na tereny w północnej części Pola Sadzarzewice. Bliiskość mostu granicznego „Gubinek” w Sękowicach oraz drogi krajowej nr 32 sprawia, że tereny te stwarzają dogodne warunki do tworzenia małych i średnich przedsiębiorstw.

Mimo wyszczególnionych elementów środowiskowych, istniejące uwarunkowania w rejonie złoża węgla brunatnego Gubin nie wykluczają możliwości podjęcia eksploatacji. Wymagać to będzie jednak uwzględnienia w procesie koncesjonowania przedstawionych czynników i określenia form i zakresu rekompensat związanych z kosztami korzystania ze środowiska. Inwentaryzacja i rzetelne przedstawienie opisanych elementów wymagać będzie zaangażowania niezależnego, interdyscyplinarnego zespołu określającego możliwości i uwarunkowania podjęcia eksploatacji złoża węgla brunatnego Gubin

Literatura

1. BEDNARCZYK et al.: *Scenariusze rozwoju technologicznego przemysłu wydobywania i przetwórstwa węgla brunatnego*, Raporty końcowe, Poltegor-Institut Instytut Górnictwa Odkrywkowego, Wrocław 2009;
2. JASKUŁOWSKI B. et al.: *Studium uwarunkowań i kierunków zagospodarowania przestrzennego Gminy wiejskiej Gubin*, Biuro Planowania Przestrzennego I Usług & Mc Spółka Z o.o., Zielona Góra 2003;
3. KORZEN J. et al.: *Studium uwarunkowań i kierunków zagospodarowania przestrzennego Gminy Brody*, TEKON S.C. Biuro doradztwa i ekspertyz, Jeleniogórskie, Biuro Planowania i Projektowania Sp. z o.o., Zielona Góra-Brody-Jelenia Góra, 1999;
4. Mapy topograficzne Polski w skali 1 :50 000, 2004r;
5. ZUBIK D., MUSIALIK D., MISIAŁKIEWICZ K.: Mapy sozologiczne Polski w skali 1 : 50 000, 2006;
6. TRITT M.: Mapy hydrogeologiczne Polski w skali 1 : 50 000, 2006;
7. Bank Danych Regionalnych GUS, 2009;
8. Generalna Dyrekcja Ochrony Środowiska: *Natura 2000 w Polsce*. <http://www.gdos.gov.pl/natura-2000/natura-2000-w-polsce>, 2010

**GENERAL DESCRIPTION OF CONDITIONS
AND LAND DEVELOPMENT
IN THE AREA OF GUBIN BROWN COAL DEPOSIT**

S u m m a r y

Description of land development in the area of Gubin brown coal deposit has been presented in the paper. Characterization includes methods of land use, technical infrastructure on the surface and underground, as well as existing and proposed protected areas because of environmental values. Described data define possibilities of potential exploitation of brown coal in the Gubin area.

Key words: land development, environmental conditions, Gubin deposit, brown coal

BARBARA WALCZAK***SUBSTANCJE ROPOPOCHODNE W PYLE DROGOWYM
W ZIELONEJ GÓRZE***S t r e s z c z e n i e*

W artykule przedstawiono wyniki badań zawartości substancji ropopochodnych w pyłach drogowych Zielonej Góry. Zawartość sumy węglowodorów w pyłe drogowym porównano z normą określającą dopuszczalną zawartość węglowodorów w glebach na terenach zurbanizowanych zgodnie z Rozporządzeniem Ministra Środowiska z dnia 9 września 2002 roku. Pyłem ulicznym określano materiał zalegający na ulicach miast.

Słowa kluczowe: węglowodory, substancje ropopochodne, pył drogowy

Wprowadzenie

Pył drogowy jest zanieczyszczeniem występującym powszechnie w miastach. W odróżnieniu od pyłu zawieszonego pył drogowy jest komponentem zalegającym bezpośrednio na ulicach miast. Jego skład jakościowy i ilościowy uzależnione są od tego, na jakim terenie występuje. Komponenty pyłu drogowego są głównie wypadkową składu gleby, emisji przemysłowych, depozycji składników spalin samochodowych, startej nawierzchni dróg oraz startych materiałów opon samochodowych. Wykładnikiem zanieczyszczenia środowiska są m.in. metale ciężkie, zawartość węglowodorów oraz WWA, zidentyfikowane w pyłe ulicznym. Rodzaj środków transportu drogowego, natężenie ruchu drogowego oraz skład paliwa napędowego kształtują ładunek deponowanych zanieczyszczeń w pyłe drogowym. Duże skażenie ropą naftową i substancjami ropopochodnymi notuje się przy stacjach paliw, wzdłuż torów kolejowych, na lotniskach, a także wzdłuż tras komunikacji samochodowej.

Podstawowymi składnikami ropy naftowej, z której wytwarza się paliwa są węglowodory nasycone. Złoża ropy naftowej są złożonymi mieszaninami, które mogą zawierać nawet do 40 składników. Rozdzielanie pojedynczych składni-

* Uniwersytet Zielonogórski, Instytut Inżynierii Środowiska, Zakład Ochrony i Rekultywacji Gruntów

ków na drodze destylacji na ogół nie jest opłacalne ekonomicznie. Dlatego ropę naftową rozdziela się na frakcje o szerszym przedziale temperatur wrzenia (°C) [Alloweay, Ajres 1999]:

- gaz ziemny: metan, propan, butany
- benzyna lekka: 20-100
- benzyna ciężka: 100-150
- nafta: 150-235
- olej lekki: 235-345
- olej ciężki: 345-565 (destylacja z parą wodną)

Zawartość substancji ropopochodnych w pyłach drogowych jest elementem bardzo istotnym ze względu na możliwość przenikania wraz z wodami opadowymi do głębszych warstw gleby, powodując ich skażenie. Przedostając się w głąb gleby powoduje zaklejanie przestworów kapilarnych i niekapilarnych i w konsekwencji – zbrylanie gleb oraz związane z tym zmiany ich właściwości fizycznych, chemicznych i biologicznych, a także pogorszenie zdolności produkcyjnych. Skażenie gleby substancjami ropopochodnymi powoduje zmniejszenie się pojemności kompleksu sorpcyjnego oraz zdolności do wymiany kationów Ca, Mg, K i H i przyswajalności K_2O , MgO i P_2O_5 oraz nadmierny wzrost C (z węglowodorów). Zmiany w składzie fizykochemicznym pociągają za sobą zmiany w składzie biologicznym, masowe obumieranie organizmów, zasiedlających powierzchniowe warstwy gleby, oraz gwałtowny wzrost bezazotowej substancji organicznej. Substancje ropopochodne mogą również przedostawać się na oczyszczalnię ścieków, gdzie mogą zakłócać jej pracę. Ilość pyłów drogowych zebranych z ulic w Zielonej Górze wynosiła w 2006 roku 2161 Mg. Jest to wielkość istotna z punktu widzenia inżynierii środowiska, ze względu na ilość i jakość tego materiału, zanieczyszczonego między innymi związkami ropopochodnymi.

Warunki przyrodnicze, charakterystyka obszaru badań i metodyka badań

Zielona Góra należy do klimatycznego Regionu Śląsko-Wielkopolskiego, który stanowi obszar przewagi wpływów oceanicznych, objawiającymi się małymi amplitudami temperatury powietrza, wczesną wiosną, długim latem i krótką, łagodną zimą. Obszar miasta odznacza się chłodniejszym klimatem, najwyższymi w regionie opadami atmosferycznymi, wcześniejszym niż w otaczającym terenie pojawianiem się zimy oraz największą liczbą dni z pokrywą śnieżną. W mieście przeważają wiatry zachodnie, które stanowią 51,8%. Udział ciszy jest niewielki i wynosi 1,1%. Obszar badań ulokowano w Zielonej Górze, mieście w zachodniej części Polski na terenie województwa lubuskiego. Zielona Góra liczy 119 tysięcy mieszkańców (2006). Miasto nastawione jest przede wszyst-

kim na usługi. Do 1989 roku miasto jednak było w znacznym stopniu uprzemysłowione. Na stan środowiska w Zielonej Górze wpływ mają miejskie ciepłownie oraz elektrociepłownie, ogrzewanie mieszkań indywidualnych poprzez opalanie węglem. Głównym zagrożeniem w mieście jest duży ruch samochodowy, który ma tendencje zwyżkową. Na zapylenie miasta bardzo duży wpływ ma pozostawienie w stanie niepokrytym roślinnością i nawierzchniami litymi gruntów pobudowanych. Zielona Góra charakteryzuje się zróżnicowaniem powierzchni, co powoduje intensyfikację procesu erozji, a co za tym idzie przedostawanie się gleb na ulice.

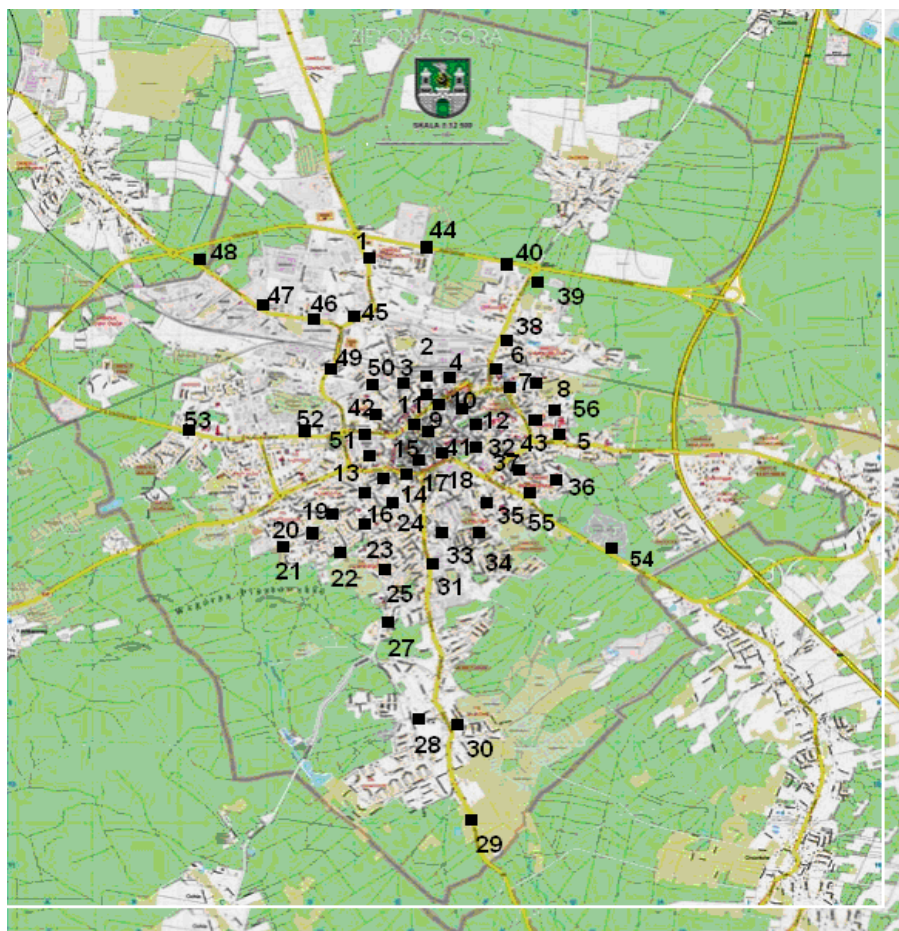
Pył drogowy pobrano w lutym 2001 roku z 56 punktów badawczych rozmieszczonych na ulicach Zielonej Góry (rys. 1). Pył drogowy pobierano z pasa jezdni przylegającego do krawędzi jezdni, w odległości do 0,5 m od jej skraju, na długości około 10 m. Materiał zmiatano szczotką a następnie pobierano do kartonów około 1 kilogramową uśrednioną próbkę zbiorczą. Miejsca poboru próbek wraz z zalegającym pyłem drogowym przedstawiają fot. 1-2. Na zamieszczonych fotografiach można zauważyć różnorodność pochodzenia zanieczyszczeń znajdujących się na ulicach miast, w kontekście uformowania bezpośredniego otoczenia ulic.

W pobranych próbkach pyłu drogowego zawartość substancji ropopochodnych oznaczono z wykorzystaniem chromatografu gazowego Shimadzu. Skład granulometryczny oznaczono metodą Casagrande w modyf. Prószyńskiego, zgodnie z normą PN-R 04033.



Fot. 1-2. Miejsca poboru próbek pyłu drogowego; ul. Gen. H. Sikorskiego oraz ul. Zamenhofa (fot. Walczak, 2010)

Fig. 1-2. Locations of sampling of road deposit; Gen. H. Sikorski st. and Zamenhof st. (Photo by Walczak, 2010)

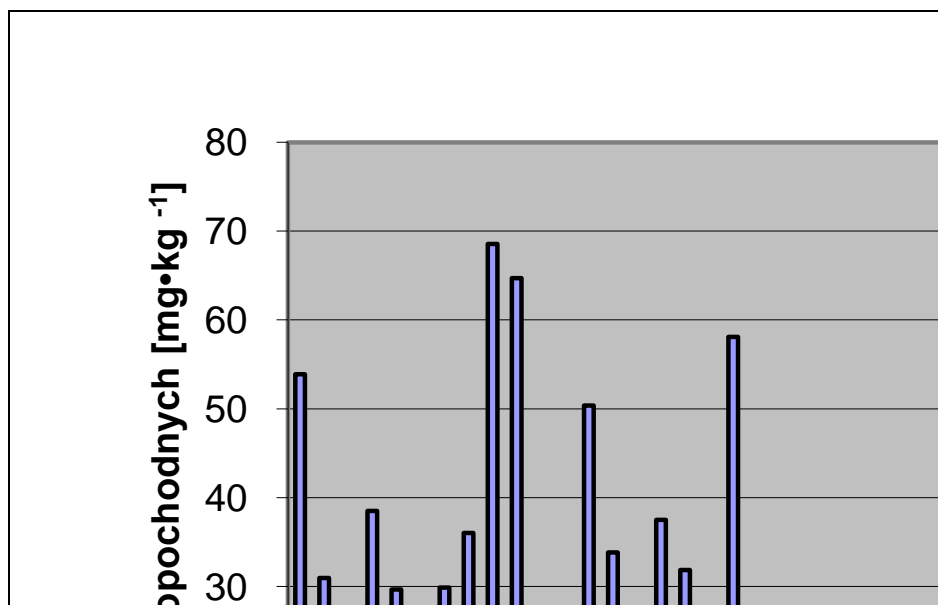


Rys. 1. Lokalizacja miejsc poboru pyłu drogowego
Fig. 1. Location of road deposits collection sites

Wyniki badań i dyskusja

Zawartość sumy ropopochodnych wynosiła od 0,49 do 68,54 mg·kg⁻¹. Średnia zawartość produktów pochodnych ropy naftowej dla wszystkich badanych próbek pyłu drogowego wynosiła 17,07 mg·kg⁻¹. Największe stężenia substancji ropopochodnych stwierdzono: na Placu Powstańców Śląskich, na ulicy Batorego, na ul. Westerplatte oraz ul. Wyszyńskiego. Najmniej substancji ropopochodnych znajdowało się w pyłe drogowym z ulic: Osiedlowej, Waryńskiego

i Krakusa. Zawartość ropopochodnych w pyle drogowym przedstawiono w tabeli 2.



Rys. 2. Zawartość sumy ropopochodnych w pyle drogowym

Fig. 2 The total content of petroleum products in the road deposits

Skład granulometryczny pyłów drogowych w Zielonej Górze wskazuje na małą zawartość części spławianych, a dużą frakcji piasku, co może mieć wpływ na gorsze właściwości sorbowania zanieczyszczeń zwłaszcza substancji ropopochodnych.

Brak jest norm oceniających jakość pyłów drogowych. Jest to jednak materiał, który pod względem wielu właściwości (np. składu mineralogicznego) materiał zbliżony do gleby. Porównując zawartość zanieczyszczeń w pyle drogowym do obowiązującego w Polsce Rozporządzenia Ministra Środowiska z dnia 9 września 2002 r. w sprawie standardów jakości gleby i standardów jakości ziemi (tab. 1), stwierdzić należy, iż wszystkie wyniki zawartości węglowodorów ropopochodnych mieszczą się poniżej podanych jako skrajne dla grupy C, a dla grupy B i A normy są jednak przekraczane. Dla grupy A jest to 9 przypadków, dla grupy B są to 4 przypadki.

Tab. 1. Zawartość sumy węglowodorów w pyłe drogowym w świetle wartości dopuszczalnych stężeń według Rozporządzenia Ministra Środowiska z dnia 9 września 2002 r. w sprawie standardów jakości gleby oraz standardów jakości ziemi

Zanieczyszczenie	Zawartość składnika pyłe drogowym	Grupa A	Grupa B	Grupa C
		Nieruchomości gruntowe wchodzące w skład obszaru poddanego ochronie na podstawie przepisów ustawy Prawo Wodne oraz obszary poddane ochronie na podstawie przepisów o ochronie przyrody	Grunty zaliczane do użytków rolnych z wyłączeniem gruntów pod stawami i rowami, grunty leśne oraz zadrzewione i zakrzewione, nieużytki a także grunty zabudowane i zurbanizowane z wyłączeniem terenów przemysłowych, użytków kopalnych oraz terenów komunikacyjnych	Tereny przemysłowe, użytki kopalne, tereny komunikacyjne
	mg·kg ⁻¹			
Węglowodory suma	0,5-68,5	31	51	3500

Większe ilości zanieczyszczeń w glebach w pobliżu tras komunikacyjnych zostały bezspornie wykazane w licznych badaniach [Kusińska i inni 2005, Siemionova i inni 2005]. Nie zawsze duże ilości zanieczyszczeń stwierdza się w miejscach o dużym natężeniu ruchu, zwłaszcza na terenach o skomplikowanym układzie przestrzennym i wysokościowym. W Zielonej Górze nie zauważono istotnej zależności zawartości zanieczyszczeń z natężeniem ruchu drogowego, ale stwierdza się bezspornie, że w niektórych punktach na ulicach miasta, zanieczyszczeń jest więcej niż w pozostałych. Po dokładnym przeanalizowaniu tych punktów na tle topografii miasta okazuje się, że zwiększone ilości składników w pyłe drogowym zlokalizowane są na tych ulicach, które leżą w obniżeniach terenu, także na ulicach generalnie płaskich. Na ulicach nachylnych zanieczyszczeń tych jest zdecydowanie mniej. Bez wątplenia jest to powodowane zmywem powierzchniowym pyłów drogowych przez opady atmosferyczne, transportem wraz z frakcjami spławialnymi i kumulowaniem w miejscach, gdzie woda dłużej stagnuje.

Literatura

1. ALLOWAY B.J., AIRES D.C.: *Chemiczne podstawy zanieczyszczenia środowiska*. PWN Warszawa 1999
2. CHŁOPEK Z.: *Ocena wpływu organizacji ruchu pojazdów drogowych na globalną emisję substancji szkodliwych dla środowiska naturalnego*. Chemia i inżynieria Ekologiczna Nr 7, 7723-737, 2000
3. GREINERT A.: *Przewodnik do ćwiczeń z gleboznawstwa i ochrony gleb*. Wydawnictwo Politechniki Zielonogórskiej, Zielona Góra, 1998
4. GREINERT A.: *Studia nad glebami obszaru zurbanizowanego Zielonej Góry*. Uniwersytet Zielonogórski. Zielona Góra, 2003
5. KUSIŃSKA A., BAUMAN –KASZUBSKA H., DZIĘGIELEWSKA –SITKO A.: *Soil environment contamination in the Płock agglomeration*. Nr 12, 3251-259, 2005
6. ZABŁOCKI Z., FUDALI E., PODLASIŃSKA J., KIEPAS- KOKOT A.: *Pozarolnicze obciążenia Środowisk*. Akademia Rolnicza, Szczecin 1998
7. Rocznik Statystyczny. Ochrona Środowiska 2006
8. Rozporządzenie Ministra Środowiska z dnia 9 września 2002 r. w sprawie standardów jakości gleby oraz jakości ziemi.
9. SIEMIONOVA P., SIEMIONOV V., LUX L., DAKOVA I., SPANOS T.: *Chemometric valuation of the air quality in an industrial region. Case study Kosice. Slovakia*. Ecological Chemistry and Engineering, Nr 12, 7727-737, 2005

PETROLEUM SUBSTANCES IN THE STREET DEPOSITS IN ZIELONA GÓRA

Summary

The article presents the results of analyses of the petroleum substances content in road deposits, collected in the town of Zielona Góra. The content of total hydrocarbons in road deposits was compared with the standard specifying the maximum level of hydrocarbons in the soils of urban areas, in accordance with the Decree of the Minister of Environment from 9 September 2002. Street deposits have been determined as the material filling the streets.

Key words: hydrocarbons, petrochemical substances, street dust

MARLENA PIONTEK, KATARZYNA BEDNAR*

BIODETERIOGENNE GRZYBY W KOPALNIACH WĘGLA KAMIENNEGO

Streszczenie

Badania nad występowaniem grzybów, w tym grzybów pleśniowych w kopalniach są prowadzone od wielu lat. Grzyby pleśniowe jak i inne biodeteriogenne organizmy rozwijają się na każdym rodzaju materiału stosowanego w wyrobiskach górniczych, dlatego szkody wyrządzone przez nie są nie do uniknięcia. W kopalniach węgla kamiennego wzrostowi mikroorganizmów sprzyja mikroklimat kopalni, specyficzne warunki środowiskowe, zarówno wysoka wilgotność względna powietrza jak i temperatura. Organizmy te porastają drewno, materiały izolacyjne przewodów elektrycznych, urządzenia elektryczne, mogą uszkadzać taśmy przenośnikowe, a także występują w emulsjach olejowo-wodnych stosowanych do układów hydraulicznych w kopalniach. Poza tym grzyby pleśniowe mogą stwarzać zagrożenie dla zdrowia osób pracujących w kopalniach.

Słowa kluczowe: organizmy biodeteriogenne, grzyby pleśniowe, kopalnie węgla kamiennego

Wprowadzenie

Organizmy biodeteriogenne, w tym grzyby pleśniowe rozwijają się licznie m.in. na materiałach stosowanych w wyrobiskach górniczych ponieważ występują w każdym środowisku. Z biologicznego punktu widzenia powszechność występowania grzybów pleśniowych jest uwarunkowana produkcją bardzo licznych zarodników oraz niezwykle skromnymi wymaganiami żywieniowymi. Grzyby pleśniowe są chemoorganotrofami. Najlepszym do rozwoju tych organizmów jest podłoże organiczne. Wykorzystują różnorodne źródła węgla [Piontek 2004]. Badania prowadzone przez pracowników Laboratorium Korozji Mikrobiologicznej Głównego Instytutu Górnictwa potwierdziły, że mikroorganizmy rozwijają się na każdym materiale stosowanym w wyrobiskach górniczych.

* Uniwersytet Zielonogórski, Instytut Inżynierii Środowiska

Źródłem zakażenia może być węgiel lub inna kopalina, woda kopalniana, eksploатовane materiały oraz człowiek. Wzrostowi tych organizmów sprzyjają odpowiednie warunki środowiskowe, mikroklimat wnętrza kopalni. Powietrze wyrobisk kopalń głębinowych cechuje wysoka temperatura i duża wilgotność względna. W odległości 2000 m od szybu, na głębokości 300-400 m od powierzchni ziemi, temperatura w ciągu roku wynosi 24-28°C, a wilgotność względna 80-100%. Jak podaje klasyfikacja klimatologiczna warunki w wyrobiskach większości europejskich kopalń głębinowych można zaliczyć do wilgotnego klimatu tropikalnego [Zyska 2001]. W Głównym Instytucie Górnictwa już od lat 70. podjęto badania nad opracowaniem metod i środków zabezpieczania kopalnianych urządzeń elektrycznych przed mikrobiologiczną biodeterioracją [Zyska 2005].

Rozkład izolacji i powłok gumowych przewodów elektrycznych stosowanych w kopalniach przez organizmy biodeteriogenne

Badania nad rolą mikroorganizmów, które uszkodzają gumy izolacyjne kabli elektrycznych stykających się z glebą przeprowadzali Amerykanie Blade i wsp. w latach 40. W latach 70. Zyska przeprowadził badania nad wpływem drobnoustrojów na kable i przewody górnicze w oparciu o próby w środowisku kopalń głębinowych oraz w testach glebowych. Badania jego pokazały, że oprócz wytrzymałości mechanicznej, odporności na korozję, wilgoć i podwyższoną temperaturę, kable i przewody górnicze powinny odznaczać się odpornością na działanie mikroorganizmów biodeteriogennych [Zyska 2001].

Pojawienie się grzybów pleśniowych w warunkach wyrobisk górniczych następuje w krótkim czasie. Jeżeli weźmiemy pod uwagę izolację przewodów elektrycznych w kopalniach, to zasiedlenie gumy oponowej kabli i przewodów górniczych, czyli zewnętrznej ich warstwy następuje po około dwóch tygodniach. Objawia się to w postaci nalotów grzybni na powierzchni kabli i przewodów. Badania nad składem mikroorganizmów zasiedlających kable górnicze przeprowadzono w 11 próbkach z czterech kopalń. Z badań tych wynika, że największy procent mikroorganizmów biodeteriogennych stanowiły grzyby pleśniowe. Udział promieniowców i bakterii wahał się w granicach od 0 do 8,5 %. W badaniach mikroorganizmów zasiedlających gumę oponową kabla elektrycznego o przekroju 5 x 4 mm² dla napięcia 0,75 kV pobranego z kopalni „Prezydent” w Chorzowie, z wyrobiska na głębokości 212 m analizowano kabel, który był w użyciu przez 12 miesięcy. Drobnoustroje izolowano z gumy na głębokości 0,4-1,1 mm od powierzchni kabla. Badania wykazały, że największy udział miały grzyby pleśniowe z rodzaju *Aspergillus* i *Penicillium*, następnie *Scopulariopsis*, *Fusarium* i *Cladosporium*, najmniej licznie wystąpiły grzyby

z rodzaju *Cephalosporium*, *Botrytis* oraz *Trichothecium*, podobnie jak bakterie i promieniowce [Zyska 2001].

Oprócz kabli elektrycznych przeprowadzone były badania próbek z takich urządzeń elektrycznych jak: rozdzielnia, zespół pompowy, skrzynka przekątnikowa oraz ze stycznika. Łącznie wyizolowano 181 szczepów grzybów pleśniowych. Do gatunku oznaczono 13 grzybów: *Aspergillus usus*, *A. ochraceus*, *A. versicolor*, *A. niger*, *Penicillium frequentans*, *P. brevicompactum*, *P. chrysogenum*, *Chaetomium globosum*, *Cladosporium herbarum*, *Fusarium solani*, *Gliocladium roseum*, *Scopulariopsis brevicaulis*, *Trichoderma viride* [Zyska 2005].

Badania mikologiczne w kopalni węgla kamiennego „Mysłowice” przeprowadzał Zygmunt Cieplik [za Zyska 2005]. Z 10 materiałów technicznych na głębokości 300 m wyizolował 43 gatunki grzybów, a z powietrza kopalnianego zebrał na filtrach i na szalkach Petri’ego 34 gatunki grzybów. Badania te objęły grzyby zasiedlające kable elektryczne w izolacji z gumy [Zyska 2005].

Uszkodzenia taśm przenośnikowych stosowanych w kopalniach głębinowych wywołane przez grzyby pleśniowe

Dla potrzeb głębinowych kopalń węgla kamiennego w latach 50. w Wielkiej Brytanii uruchomiona została produkcja taśm przenośnikowych z polichlorku winylu jako substytutu gumowych taśm przenośnikowych, które spowodowały pożar w kopalni i śmierć wielu górników. Ze względu na to, że podobne pożary miały miejsce w polskim górnictwie węglowym w Bydgoskich Zakładach Przemysłu Gumowego uruchomiono w latach 60. produkcję taśm przenośnikowych z polichlorku winylu. W taśmach tych czynnikiem, który powodował wytrzymałość były tkaniny bawełniane, tkaniny wiskozowe oraz tkaniny poliamidowo-wiskozowe. W krótkim czasie po zastosowaniu w kopalniach polskich taśm z PCW z tkaninami bawełnianymi okazało się, że taśmy tracą swoją wytrzymałość ze względu na rozkład bawełny przez celulolityczne grzyby pleśniowe. Taśmy takie ulegały zrywaniu na złączach mechanicznych, a nawet na ciągach taśm między złączami.

B. Zyska wraz z naukowcami z Wielkiej Brytanii przeprowadzili wspólnie badania nad szybkością penetracji pięciu grzybów celulolitycznych (*Trichoderma viride*, *Stachybotrys chartarum*, *Memnoniella echinata*, *Fusarium solani*, *Penicillium janthinellum*) do włókien bawełnianych taśmy przenośnikowej z PCW. Po przeprowadzeniu badań stwierdzono, że grzyb pleśniowy *Trichoderma viride* penetrował taśmę z PCW o pięciu przekładkach bawełnianych na głębokości ponad 96 mm w ciągu 20 dni, co stanowiło 10 % szerokości taśmy. Badania te wykazały, że sam polichlorek winylu jako bariera fizyczna nie dawał

zabezpieczenia bawełny przed biodeteriogennymi mikroorganizmami [Zyska 2001].

Podczas eksploatacji taśm przenośnikowych z PCW dochodziło często do uszkodzeń mechanicznych, a więc i do odsłonięcia tkaniny. W takich przypadkach ingerencja grzybów pleśniowych z miejsca uszkodzenia taśmy przenośnikowej była bardzo szybka i rozchodziła się po całym przekroju poprzecznym taśmy. W związku z tym przeprowadzono badania skuteczności takich fungicydów jak: o-fenylfenyl, chloracetamid, merkaptobenzotiazol, laurynian pięciochlorofenolu oraz pochodna tiokarbamylu. Wyniki wykazały, że najlepsze zabezpieczenie bawełny w taśmach przenośnikowych osiągnięto przez dodanie do pasty z PCW 4% pochodnej tiokarbamylu. Szacuje się, że fungicyd ponad dwukrotnie zwiększył odporność mikrobiologiczną taśm [Zyska 2001].

Grzyby pleśniowe w emulsjach olejowo-wodnych stosowanych w układach hydraulicznych w kopalniach węgla kamiennego

Najbardziej uciążliwym zjawiskiem związanym z problematyką mikrobiologicznego rozkładu w kopaniach węgla kamiennego jest rozkład trudno palnych cieczy hydraulicznych zasilających obudowy zmechanizowane. W wyniku aktywności życiowej mikroorganizmów może nastąpić zmiana barwy i konsystencji emulsji, a więc i w konsekwencji utrata ich właściwości użytkowych.

Mikroorganizmy występujące w emulsjach stosowanych w układach hydraulicznych w kopalniach mogą powodować:

- rozwarstwienie cieczy w skutek ubytku emulgatorów,
- tworzenie kożuchów na powierzchni oraz zawiesin wytworzonej biomasy w cieczy,
- utratę właściwości smarnych,
- przebarwienie cieczy – powstawanie koloru szarego i czarnego, wskutek reakcji wydzielonego przez bakterie siarkowodoru z jonami żelaza,
- spadek wartości pH emulsji, spowodowany uwalnianiem się kwasów organicznych w procesach tlenowych oraz wydzielaniem H_2S w procesach beztlenowych,
- korozję metali na skutek spadku wartości pH oraz rozkładu elektrochemicznych inhibitorów korozji,
- zapychanie filtrów oraz utrudnianie cyrkulacji cieczy, spowodowane powstaniem i gromadzeniem się biomasy oraz wytrącaniem siarczków, powstających przy udziale bakterii beztlenowych redukujących siarczany,
- wyciekanie cieczy wskutek zwiększającej się agresywności korozyjnej wobec metali i innych elementów obudowy,
- pojawienie się nieprzyjemnych zapachów, np. zjełczalego tłuszczu, będącego lotnymi produktami przemiany bakterii tlenowych oraz siarkowodoru.

Duży udział w rozkładzie emulsji mają oprócz bakterii drożdże i grzyby pleśniowe. Rozwój ich następuje wtedy, gdy kwaśne produkty przemiany materii wywołanej przez bakterie przyczynią się do obniżenia wartości pH środowiska. Zespół mikroorganizmów występujący w emulsjach stosowanych w kopalniach węgla kamiennego jest zróżnicowany w zależności od ich rodzaju oraz warunków specyficznych dla poszczególnych kopalń. Grzyby pleśniowe wyizolowane z emulsji olejowo-wodnych stosowanych w kopalniach to: *Alternaria alternata*, *Aspergillus flavus*, *A. niger*, *A. ruber*, *A. versicolor*, *Botrytis cinerea*, *Chaetomium globosum*, *Cladosporium cladosporioides*, *C. herbarum*, *Fusarium chlamydosporum*, *F. oxysporum*, *F. solani*, *Penicillium citrinum*, *P. chrysogenum*, *P. frequentans*, *P. spinulosum*, *P. variable*, *Rhizopus stolonifer*, *Trichoderma viride*. Gatunki drożdży to: *Candida albicans*, *Geotrichum candidum*, *Rhodotula rubra* [Janda 2005].

Grzyby rozkładające drewno w kopalniach

Drewno i jego trzy główne składniki – celuloza, hemicelulozy oraz lignina – ulegają w różnym stopniu rozkładowi pod wpływem działania grzybów [Zyska 1970]. Rozkład celulozy i ligniny jest procesem biochemicznym, zachodzącym pod wpływem enzymów celulazy i ligninazy wydzielanych przez strzępki grzywni. Drewno pod wpływem rozkładu zmienia swoją barwę, zapach, gęstość (ciężar objętościowy). Zmieniają się w drewnie także właściwości mechaniczne. Wszystkie te zmiany zachodzące w drewnie uzależnione są od gatunku grzyba i od warunków, w jakich zachodzi proces rozkładu [Ważny 2001]. Grzyby porastające drewno są ważną fizjologiczno-ekologiczną grupą organizmów [Rypąček 1966]. W kopalniach węgla oprócz grzybów pleśniowych należących do gromad *Zygomycota*, *Ascomycota*, oraz grzybów anamorficznych mogą występować też grzyby domowe należące do gromady podstawczaków (*Basidiomycota*). W naszym kraju występuje kilkanaście gatunków grzybów domowych, które pod względem szkodliwości można podzielić na cztery grupy:

- **I** – grzyby najbardziej niebezpieczne, powodujące bardzo szybki rozkład drewna na dużych powierzchniach (np. krowiak łykowany, podskórnik zatokowany)
- **II** – grzyby mniej szkodliwe w budynkach a bardziej w miejscach otwartych, charakteryzujące się gniazdowym występowaniem (np. ciemnoskórek belkowy)
- **III** – grzyby mało szkodliwe, rozwijające się tylko przy dużej wilgotności podłoża (np. czuprynka kulista)
- **IV** – grzyby mało szkodliwe dla drewna atakujące różne materiały: tynki, powłoki malarskie itp. powodujące ich niszczenie, rozwijające się tylko przy dużej wilgotności podłoża [Kozarski 1997].

Na drewnie kopalnianym może występować gatunek grzyba należący do I kategorii – grzyb kopalniany *Paxillus panoides* Fr. (*Paxillus acheruntius*) znany też jako krowiak łykowaty. Grzyb ten powoduje silny i szybki rozkład brunatny drewna. Zniszczone drewno przybiera barwę żółtozieloną, która pod koniec rozkładu przechodzi w odcień brunatny. Drewno można łatwo rozetrzeć na proszek. Grzyb kopalniany rozwija się dobrze w miejscach o dużej wilgotności. Posiada zdolność owocowania w całkowitej ciemności.

Oprócz grzyba kopalnianego w kopalniach węgla występują często takie gatunki jak: grzyb domowy właściwy *Serpula lacrymans* (Wolf., Fr) Schoret – znany jako stroczek łzawy lub stroczek domowy, oraz grzyb piwniczny *Coniophora puteana* (Schum., Fr.), Karst, znany jako gnilica różgowata lub brunatny grzyb domowy, a także grzyb domowy biały *Poria vaporaria* Pers. – porzyca inspektowa oraz wroślak rzędowy *Trametes serialis* Fr. [Ważny 2001].

Górnictwo węgla kamiennego w Polsce wprowadziło w ostatnich latach skuteczne metody zabezpieczania drewna kopalnianego przed destrukcją powodowaną przez grzyby, uzyskując tym samym spore efekty ekonomiczne.

Grzyby pleśniowe w kopalniach jako zagrożenie dla zdrowia górników

Oprócz negatywnej w skutkach biodeterioracji materiałów stosowanych w kopalniach grzyby pleśniowe wpływają na zdrowie górników. Nabywane drogą oddechową, pokarmową lub na skutek wniknięcia przez uszkodzoną skórę powodują zakażenia grzybicze. W wyniku narażenia zawodowego na grzyby może dochodzić do rozwoju grzybic skórnych wywoływanych przez takie gatunki jak: *Trichophyton verrucosum*, *T. mentagrophytes*, *T. rubrum*. Specyficzne warunki mikroklimatyczne w kopalniach (duża wilgotność i wysoka temperatura) sprzyjają wzmożonej potliwości i zakażeniom także drożdżakami *Candida albicans* [Wiszniewska 2009].

Grzyba *Sporothrix schenckii*, który często porasta drewno w kopalniach może wywoływać grzybicę sporotrychozę. Do masowej infekcji tym gatunkiem grzyba pleśniowego doszło w 1945 roku na kopalniach w Witwatersrand – Afryka Płd., gdzie zaobserwowano 1500 przypadków sporotrychozy [Müller i wsp. 1987]. Sporotrychoza może prezentować wielość obrazów klinicznych. Lokalizuje się w obrębie skóry, błon śluzowych, węzłów chłonnych, kości i narządów wewnętrznych. Infekcji sprzyjają urazy skóry materiałem drzewnym, na którym często bytuje omawiany gatunek [Zabawski i in. 1998]. *Sporothrix schenckii* rośnie w tkankach gospodarza w formie drożdżowej. Charakterystyczna dla sporotrychozy jest wrzodziejąca zmiana pierwotna na kończynie oraz mnogie guzki i ropnie wzdłuż naczyń chłonnych [Kayser 2007].

Oprócz grzybów pleśniowych i drożdży, które mogą powodować opisane wyżej grzybice, górnicy narażeni są na działanie grzybów alergogennych, które występują w kopaniach i rozkładają materiały techniczne. Zagrożenie alergogenne mogą potęgować także roztocze (*Acari*). Rozkruszek drobny *Tyrophagus putrescentiae* Schrank, dla którego grzyby te stanowią pokarm stwierdzany był w kopalniach węgla kamiennego na Górnym Śląsku [Solarz 2002].

Literatura

1. JANDA K.: Produkty naftowe. W : *Mikrobiologia materiałów* [red] Zyska B. Żakowska Z., Politechnika Łódzka, Łódź, 447 – 486, 2005
2. KAYSER F.H.: Grzyby jako patogeny człowieka W: *Mikrobiologia lekarska*, F.H. Kayser, K.A. Bienz, J. Eckert, R.M. Zinkernagel, Red. naukowa tłumaczenia P.B. Heczko, A. Pietrzyk, Wydawnictwo Lekarskie PZWL, Warszawa, 328-343, 2007
3. KOZARSKI P.: *Konserwacja domu*, Polskie Stowarzyszenie Mykologów Budownictwa, Wrocław, 342, 1997
4. MÜLLER E., LOEFFLER W.: *Zarys mikologii dla przyrodników i lekarzy*, Państwowe Wydawnictwo Rolnicze i Leśne, Warszawa, 523, 1987
5. PIONTEK M.: *Grzyby pleśniowe i ocena zagrożenia mikotoksycznego w budownictwie mieszkaniowym*. Uniwersytet Zielonogórski, Zielona Góra, 174, 2004
6. RYPÁČEK V.: *Biologie holzerstörender Pilze*, Jena G. Fischer Verlag, 59, 1966
7. SOLARZ K.: Subclassis: *Acari* Latreille, 1795 – Podgromada: Roztocze. Roztocze alergogenne W: *Parazytologia i akarontomologia medyczna*, Wydawnictwo Naukowe PWN, Warszawa, 332-378, 2002
8. WISZNIEWSKA M.: *Grzyby pleśniowe – ekspozycja zawodowa i zagrożenia*. Praca i zdrowie (<http://www.pracaizdrowie.com.pl/content/view/749/6/>), 2009
9. WAŻNY J.: Mikroorganizmy rozwijające się w budynkach. W: *Ochrona budynków przed korozją biologiczną*, Arkady, Warszawa, 52- 90, 2001
10. ZABAWSKI J., BARAN E.: Charakterystyka częściej występujących grzybów chorobotwórczych i grzybów oportunistycznych z podgromad: Zygomycotina, Ascomycotina i Deuteromycotina. W: *Zarys mikologii lekarskiej* [red] Baran E., Volumed, Wrocław, 37-72, 1998
11. ZYSKA B.: *Hamowanie dysymilacji bielu sosnowego przez preparaty stosowane w impregnacji kopalniaków*. Prace Głównego Instytutu Górnictwa, Katowice, 78, 1970
12. ZYSKA B.: *Katastrofy, awarie i zagrożenia mikrobiologiczne w przemyśle i budownictwie*, Politechnika Łódzka, Łódź, 300, 2001

13. ZYSKA B. Materiały elektroizolacyjne W : *Mikrobiologia materiałów* red. Zyska B. Żakowska Z., Politechnika Łódzka, Łódź, 493-520, 2005

BIODETERIOGENIC MOULDS IN COAL MINES

S u m m a r y

Studies on the prevalence of fungi, including moulds in the mines are done for many years. Moulds and other biodeteriogenic organisms develop on any type of material used in excavations, because the damage caused by these are not inevitable. In coal mines the growth of microorganism favour micro-climate of the mine, specific environmental conditions, both high relative humidity and temperature. These organisms grow on wood, insulation materials for electrical wiring, electrical equipment, can damage the conveyor, and also occur in the oil - water emulsions used in the hydraulic systems in the mines. In addition, moulds can cause health risks of people working in the mines.

Key words: biodeteriogenic organisms, moulds, coal mines

**GRZEGORZ WACHOWIAK,
MAŁGORZATA KĘPIŃSKA-KASPRZAK***

**PRZYCZYNY ZMIAN W ODPLYWIE RZECZNYM
NA OBSZARACH OBJĘTYCH WPŁYWEM
EKSPLOATACJI WĘGLA BRUNATNEGO**

Streszczenie

Badania hydrologiczno-meteorologiczne prowadzone przez IMGW na obszarze wpływu inwestycji górnictwo-energetycznej w rejonie Bełchatowa pozwoliły na ocenę antropogenicznych i naturalnych przyczyn zmian w odpływie rzeczonym na terenach objętych wpływem antropopresji. Wskazano na konieczność prowadzenia szerokich badań hydrologicznych i meteorologicznych we wszystkich fazach działania kopalni.

Słowa kluczowe: górnictwo odkrywkowe, lej depresyjny, antropopresja, odpływ, klimatyczny bilans wodny

Wstęp

Odkrywkowa eksploatacja węgla brunatnego prowadzi do znacznych przekształceń środowiska, a w tym stosunków wodnych i to niekiedy na obszarze znacznie odległym od kopalni. Całokształt prac górniczych (od udostępniania złoża, poprzez wydobycie węgla do rekultywacji terenów poeksploatacyjnych) wpływa między innymi na wielkość zasobów wód podziemnych i powierzchniowych, zmienia strukturę obiegu wody i powoduje zmiany w sieci hydrograficznej. Wpływ antropopresji na wielkość odpływu rzecznego przejawiać się może zarówno w jego obniżeniu lub wzroście w odniesieniu do warunków quasi-naturalnych.

Na zmiany wielkości przepływów wody w ciekach dodatkowy wpływ wywiera bazująca na węglu energetyka jak również szereg innych czynników antropogenicznych.

* Instytut Meteorologii i Gospodarki Wodnej, Oddział w Poznaniu, Ośrodek Badań Regionalnych

Metodyka badań wpływu kopalni odkrywkowych na stosunki wodne

Założenia metodyczne badań hydrologicznych na obszarze objętym wpływem górnictwa odkrywkowego przedstawić można na podstawie prac realizowanych w rejonie Kopalni „Bełchatów”. Badania wód powierzchniowych od początku funkcjonowania Kopalni są prowadzone przez Instytut Meteorologii i Gospodarki Wodnej (IMGW) Oddział w Poznaniu. Podstawą prowadzonych analiz i studiów są przede wszystkim prace terenowe, a głównie:

- prowadzenie obserwacji wodowskazowych i pomiarów hydrometrycznych na sieci posterunków i profili zlokalizowanych na rzekach,
- kontrola zmian stanów wody (głównie poprzez ciągłą rejestrację przy zastosowaniu limnigrafów) i prowadzenie pomiarów na sieci profili zlokalizowanych na kanałach i rowach prowadzących wody kopalniane,
- wykonywanie pomiarów i obserwacji meteorologicznych,
- rejestracja w czasie badań terenowych wszystkich lokalnych czynników mogących rzutować na wielkość przepływów wody w ciekach.

Sieć ta w ciągu wieloletnich badań ulegała ciągłej modyfikacji. W roku 2009 były czynne 34 posterunki wodowskazowe (w tym 17 z limnigrafami), 73 profile hydrometryczne i 29 posterunków opadowych (w tym 2 stacje meteorologiczne).

Z punktu widzenia oceny wpływu czynników antropogenicznych w rejonie oddziaływania Kopalni „Bełchatów” istotne było określenie początku zmian w odpływie rzeczny. Wykorzystano do tego informacje o rozwoju poszczególnych czynników oraz opracowane krzywe sumowe opadów atmosferycznych i odpływów. Wyniki badań pozwoliły na stwierdzenie, że okres do 1974 roku można traktować jako quasi-naturalny, rok 1975 był rokiem przejściowym, a od 1976 roku mamy do czynienia z intensywnymi zmianami wywołanymi przez Zespół Górniczo-Energetyczny (ZGE) „Bełchatów”.

Na obliczenie wielkości zmian w odpływie oraz określenie roli antropopresji pozwala znajomość wielkości przepływów rzeczywistych i odtworzonych oraz dane o wartościach zrzutów i poborów, przy czym elementem zamykającym równanie jest tu wielkość strat w odpływie spowodowana rozwojem leja depresji.

Wyniki badań prowadzonych przez IMGW w rejonie KWB „Bełchatów” opracowywane są w formie roczników [Wachowiak i in. 2010]. Zdobyte tu doświadczenia zostały wykorzystane między innymi w podjętych przez IMGW w połowie lat 90-tych badaniach hydrologicznych i meteorologicznych w rejonie KWB „Konin”.

Wyniki badań prowadzonych w rejonie Kopalni Węgla Brunatnego „Bełchatów”

Ocena zmian odpływu rzecznej na różnych etapach rozwoju ZGE „Bełchatów” przedstawiana jest sukcesywnie przez G. Wachowiaka [1985, 2002, 2004, 2005].

Jako przykład ilościowy wpływu leja depresji przedstawiono poniżej zmiany w odpływie średnim rocznym dla zlewni górnej Widawki do profilu Ruszczyn zamykającego zlewnię o powierzchni $A=346 \text{ km}^2$ (w warunkach naturalnych). Profil ten zlokalizowany jest powyżej zrzutów wód kopalnianych, a na wielkość przepływów z czynników antropogenicznych oddziałuje tylko lej depresyjny, powodujący ich obniżenie (tab. 1).

Tab. 1. Zmiana średnich rocznych przepływów Widawki w profilu Ruszczyn w latach 1976-2009 i udział leja depresyjnego 1m KWB „Bełchatów” w zlewni dla okresów wieloletnich

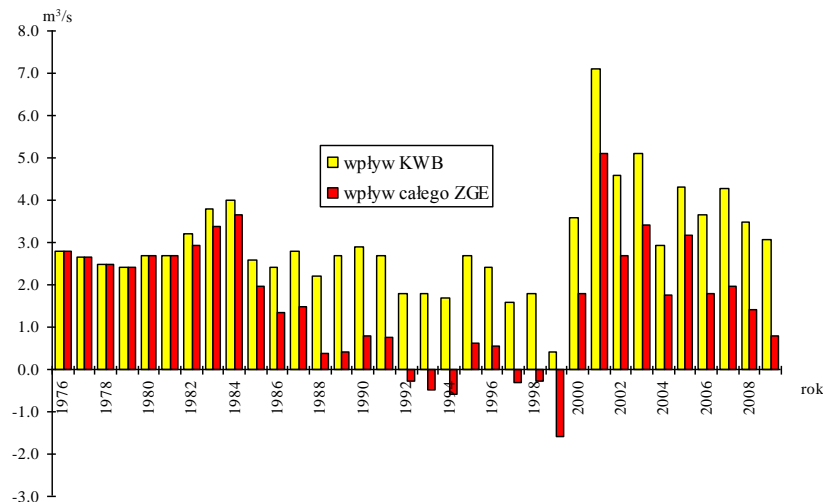
Tab. 1. Change in average annual Widawka flows in the profile Ruszczyn between 1976-2009 and the participation of a cone of depression 1m KWB "Bełchatów" in the catchment area for a number of years

Okres	Przepływ rzeczywisty	Przepływ obliczony jak dla warunków naturalnych	Zmiana przepływu		Udział leja depresyjnego 1 m w zlewni	
	m^3/s	m^3/s	m^3/s	%	km^2	%
1976-1980	1,32	2,05	-0,73	-35,6	54	15,6
1981-1985	0,91	1,93	-1,02	-52,8	124	35,8
1986-1990	0,56	1,52	-0,96	-63,2	147	42,5
1991-1995	0,40	1,48	-1,08	-73,0	186	53,8
1996-2000	0,88	2,09	-1,21	-57,9	123	35,5
2001-2005	1,03	1,89	-0,86	-45,5	104	30,1
2006-2009	0,82	1,57	-0,75	-47,8	105	30,3
1976-2009	0,85	1,80	-0,95	-52,8	121	35,0

Kolejne wnioski wyciągnąć można oceniając wpływ samego górnictwa (traktowanego jako bilans zrzutów i strat w odpływie spowodowanych rozwojem leja depresyjnego) jak i powiązanej z nim energetyki. Tytułem przykładu przedstawiono na rys. 1 zmiany w średnim rocznym przepływie Widawki w profilu Podgórze ($A=2354 \text{ km}^2$). Na zmiany wywołane przez lej depresyjny KWB „Bełchatów” nakłada się tu dodatkowo wpływ zrzutów wód kopalnianych i ścieków oraz pobory wody przez Elektrownię „Bełchatów”.

Wpływ samej Kopalni, traktowany jako bilans zrzutów i strat w odpływie w wyniku rozwoju leja depresyjnego, skutkował w całym okresie wzrostem przepływów w stosunku do warunków naturalnych. Pobory wody przez Elek-

trównię powodowały jednak, że w sześciu latach analizowanego wielolecia rzeczywiste przepływy były niższe.



Rys. 1. Zmiana przepływów Widawki w profilu Podgórze w wyniku oddziaływania Kopalni Węgla Brunatnego (KWB) „Belchatów” oraz całego Zespołu Górniczo-Energetycznego (ZGE) „Belchatów” w latach 1976-2009

Fig. 1. Changing the Widawka flow in Podgórze profile resulted by Brown Coal Mine (KWB) „Belchatów” and the entire Team of Mining and Energy (ZGE) „Belchatów” in the years 1976-2009

Dyskusja

Omawiając wyniki badań nad antropogenicznymi zmianami w odpływie w rejonie wpływu KWB „Belchatów” zwrócić należy uwagę przede wszystkim na skutki tych zmian. Można je bowiem przenieść również na inne obszary, które znajdują się obecnie lub mogą znaleźć się w przyszłości w zasięgu oddziaływania kopalni odkrywkowej węgla i związanej z tym energetyki.

Górnictwo odkrywkowe nie zmniejsza zasadniczo ogólnej wielkości odpływu rzecznoego z całego obszaru objętego jego wpływem. W okresie formowania się leja depresyjnego następuje nawet wzrost odpływu co spowodowane jest odprowadzaniem do rzek głębszych wód podziemnych, które w warunkach naturalnych nie zasilają wód powierzchniowych. Zjawiska zachodzące w obrębie leja depresyjnego powodują jednak przemieszczenie wody, poprzez system odwodnienia kopalni z jednej części obszaru w drugi. Stąd też w takich przy-

padkach wystąpić mogą z jednej strony skutki negatywne (przesuszenie gleb, zmniejszenie zasobów wód powierzchniowych) z drugiej zaś nastąpi zwiększenie przepływów rzeki po przyjęciu wód kopalnianych.

Z punktu widzenia negatywnego wpływu górnictwa odkrywkowego na stosunki wodne, a w tym na wielkość odpływu rzecznoego znaczenie ma zasięg leja depresyjnego. Według „Słownika Hydrogeologicznego” [1979] za zasięg leja przyjmuje się taką odległość, w której zwierciadło wody podziemnej uległo pod wpływem drenażu górniczego obniżeniu o 1 metr w stosunku do średniego stanu wieloletniego.

W strefie wpływu leja depresyjnego na odpływ może mieć miejsce:

- częściowy lub całkowity zanik zasilania podziemnego,
- zmniejszenie lub zanik spływu powierzchniowego do rzeki,
- infiltracja wód z cieku w przypadku obniżenia wód podziemnych poniżej wcięcia koryt rzecznych.

Stopień wpływu tych procesów jest zmienny w czasie i uzależniony m.in. od rozwoju leja depresyjnego, jego stabilizacji czy wreszcie wycofywania się w związku ze zmianą frontu prac górniczych i odwodnieniowych.

W przypadku występowania większych strat w odpływie niż wynikałoby to z udziału leja depresyjnego w zlewni, przyczyn takiej sytuacji należy doszukiwać się w infiltracji wody z koryta cieku czy też w większym zasięgu leja depresji niż wyznaczony. Przejawiać się tu również może wpływ innych czynników antropogenicznych powodujących zmniejszenie przepływów jak np. zasilanie stawów rybnych, wykorzystywanie wody do nawodnień itp.

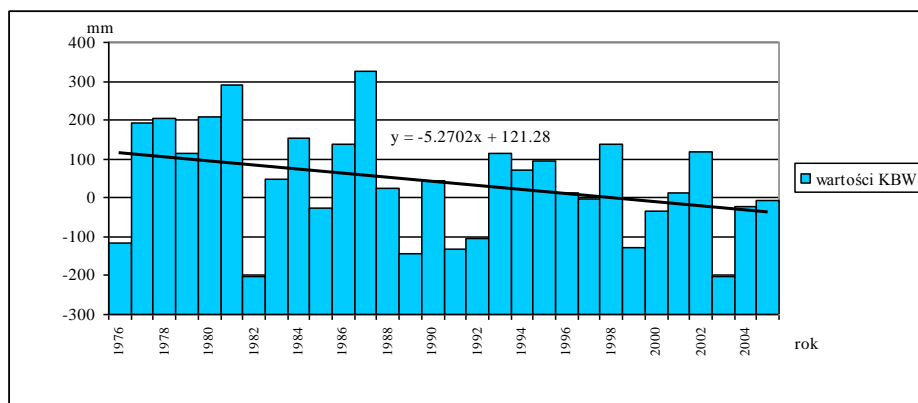
Zasięg leja depresyjnego jak i wielkość zmian w odpływie rzecznoym uzależnione są również od warunków meteorologicznych, w tym przede wszystkim od wysokości i rozkładu opadów atmosferycznych. Na antropogeniczne zmiany w stosunkach wodnych nakładają się bowiem zmiany spowodowane przez czynniki naturalne kształtujące wielkość odpływu rzecznoego. Przy takim samym zasięgu leja depresyjnego jego wpływ na wielkość odpływu w wartościach bezwzględnych jest większy w roku bardziej zasobnym w wodę niż w roku suchym.

Zachodzące i rejestrowane wielkości zmian w odpływie rzecznoym na obszarach objętych wpływem eksploatacji węgla brunatnego uzależnione są od lokalizacji analizowanych profili w stosunku do leja depresyjnego, obiektów kopalni i elektrowni, a w tym przede wszystkim od miejsc zrzutów i poborów wody. Zmiany w odpływie spowodowane antropopresją uzależnione są albo od jednego czynnika (np. leja depresyjnego) lub też są wypadkową oddziaływania szeregu czynników. Siła antropopresji jest zmienna i to zarówno w czasie, jak i na obszarze, co wiąże się z rozwojem inwestycji górniczo-energetycznej.

W rejonie KWB „Bełchatów” została zaprojektowana i zrealizowana najlepsza w Polsce sieć monitoringu stanów wód podziemnych, która dotyczy eksploatacji górniczej [Adamczyk, Motyka 1995]. Mimo posiadania szczegółowych

danych z tego monitoringu oraz dysponowania danymi dotyczącymi wydatku systemu odwodnienia, rozpoznaniem hydrogeologicznym i kompletnymi danymi meteorologicznymi i hydrologicznymi z sieci pomiarowo-obszerniczej IMGW, istnieją wątpliwości co do zasięgu drenażu kopalni. Wyznaczenie zasięgu leja depresji wywołanego wyłącznym wpływem kopalni utrudnia np. wystąpienie niskich opadów atmosferycznych oraz praca ujęć wód zlokalizowanych w obrębie leja depresji oraz na jego peryferiach.

Jak wspomniano wcześniej, na wpływ czynników antropogenicznych na obszarze oddziaływania górnictwa odkrywkowego nakłada się wpływ czynników naturalnych, głównie warunków meteorologicznych. W związku z powyższym, w obliczeniach bilansu wodnego obszaru objętego lejem depresyjnym uwzględnia się wpływ opadów atmosferycznych. Ich wielkość, choć zmienna z roku na rok, w przedziałach wieloletnich nie wykazuje na większości obszaru Polski istotnych statystycznie zmian. Natomiast badania wykazują, że na skutek istotnego wzrostu temperatury powietrza w ostatnich 20-30 latach nastąpił wzrost parowania skutkujący coraz niższymi wartościami klimatycznego bilansu wodnego (KBW) [Kępińska-Kasprzak, Mager 2010]. Poniżej przedstawiono trend wartości klimatycznego bilansu wodnego z obszaru o zbliżonych warunkach klimatycznych do obszaru, na którym znajdują się planowane do eksploatacji jedno z największych na świecie złoża węgla brunatnego tj. rejon Gubin-Mosty (rys. 2). Malejące wartości wskaźnika (KBW) w przedstawionym przykładzie ze stacji w Słubicach potwierdzają rosnący udział parowania w bilansie. W praktyce skutkować to będzie istotniejszym pogorszeniem się warunków wodnych na obszarze oddziaływania planowanej kopalni odkrywkowej niż wynikałoby to z wpływu samego leja depresji.



Rys. 2. Trend wartości klimatycznego bilansu wodnego (KBW) w latach 1976-2009 – stacja synoptyczna Słubice
 Fig. 2. Trend values of climatic water balance (KBW) in the years 1976-2009 – Słubice Synoptic Station

Wnioski

Prawidłowa ocena zmian w stosunkach wodnych jest możliwa tylko w przypadku dysponowania szerokim wachlarzem danych pomiarowo-obszaryjnych. Materiał taki winien być do dyspozycji już w momencie wykonywania ocen wpływu inwestycji przemysłowej na środowisko. Informacje te są niezbędne dla oddzielenia wpływu warunków naturalnych na wielkość odpływu i jego rozkładu od wielkości wpływu antropogenicznego. Na negatywne skutki rozwoju leja depresyjnego nałożyć się może występowanie m.in. ekstremalnych warunków atmosferycznych prowadzących np. do pogłębienia się zjawiska suszy hydrologicznej. W świetle ostatnich badań wskazujących w scenariuszach zmian klimatu na dalszy możliwy wzrost temperatur powietrza, niestabilność opadów atmosferycznych oraz wzrost częstości zjawisk ekstremalnych [IPCC 2007], monitoring elementów składowych klimatycznego bilansu wodnego na obszarach oddziaływania kopalni odkrywkowych jest niezbędny. Istotne jest zatem podjęcie wyprzedzających badań w terenie, które pozwoliłyby również na uzyskanie pełnej informacji meteorologicznej i hydrologicznej o terenie przyszłej kopalni jak i jej otoczenia. Monitoring warunków hydrologiczno-meteorologicznych jest również niezbędny w okresie eksploatacji surowca jak i później dla działań rekultywacyjnych.

Literatura

1. ADAMCZYK A.F., MOTYKA J.: *Problemy metodyczne związane z wyznaczaniem zasięgu leja depresji w rejonach oddziaływania drenażu górniczego*. Współczesne problemy hydrogeologii, T.VII, cz.2, 209-212, Kraków-Krynica 1995
2. *Fourth Assessment Report of the IPCC (AR4)*, The. Intergovernmental Panel on Climate Change. IPCC, 2007
3. KĘPIŃSKA-KASPRZAK M., MAGER P.: *Fluctuations of Selected Agro-meteorological Indices in Wielkopolska in years 1966-2005*. www.cost734.eu, 2010
4. *Słownik hydrogeologiczny*. KLECZKOWSKI A.S., RÓŻKOWSKI A. (red.): MOŚNiL, Warszawa 1997
5. WACHOWIAK G.: *Ucieczki wody z koryt rzecznych na obszarze leja depresyjnego Kopalni Węgla Brunatnego „Bełchatów”*. Gospodarka Wodna, Nr 12, 277-280, 1985
6. WACHOWIAK G.: *Oddziaływanie Zespołu Górniczo-Energetycznego „Bełchatów” na wielkość odpływu z dorzecza Widawki*. Bad. Fizjogr. nad Polską Zach., T. 53, seria A, 153-164, 2002

7. WACHOWIAK G.: *Wpływ regresji leża depresyjnego KWB „Bełchatów” na wielkość odpływu w zlewni górnej Widawki*. Górnictwo Odkrywkowe, Nr 1, 14-19, 2004
8. WACHOWIAK G.: *Wpływ Kopalni Węgla Brunatnego „Bełchatów” na odpływ ze zlewni Widawki (stan do 2004 roku)*. Górnictwo Odkrywkowe, Nr 6, 14-22, 2005
9. WACHOWIAK G. i in.: *Pole Bełchatów i Pole Szczerców. Rocznik hydrologiczny i meteorologiczny obszaru oddziaływania odwodnienia PGE KWB Bełchatów S.A. 2009*. IMGW Oddział w Poznaniu 2010

COUSES OF CHANGES IN FLUVIAL RUN-OFF IN AREAS AFFECTED BY OPENCAST LIGNITE MINES

S u m m a r y

Hydrological-meteorological research carried by IMGW in the area affected by the open cast lignite mine and power plant in the Bełchatów region allowed to estimate the causes of anthropogenic and natural impacts on the fluvial runoff in the area under anthropopressure. The necessity to conduct broad hydrological and meteorological research at all phases of opencast mining operations was strongly recommended.

Key words: opencast mining, depression cone, anthropopressure, discharge, climatic water balance

MARCIN CHODAK*, ANNA SZCZĘCH

ZASTOSOWANIE SPEKTROSKOPII NIR DO OZNACZANIA ZAWARTOŚCI C I N W GLEBACH POPRZEMYSŁOWYCH

Streszczenie

Celem pracy było przetestowanie możliwości zastosowania spektroskopii NIR do szybkiego oznaczania zawartości C i N w zrekultywowanych glebach pogórnich. Opracowane modele predykcyjne pozwoliły na dokładne oznaczenie zawartości tych pierwiastków w niezależnym zestawie prób użytym do walidacji co wskazuje na przydatność badanej metody do oznaczania C i N w glebach pogórnich.

Słowa kluczowe: spektroskopia w bliskiej podczerwieni, węgiel glebowy, azot glebowy, gleby przemysłowe

Wstęp

Jednym z najważniejszych zadań rekultywacji terenów zdewastowanych działalnością górniczą jest przekształcenie zezwałowanych lub odsłoniętych gruntów w gleby. Grunty budujące zwałowiska lub wyrobiska w odróżnieniu od gleb nie zawierają materii organicznej a tym samym nie zawierają glebowego C i N [Gołda 2007]. Stąd też, oznaczenia glebowego C i N stosowane być mogą w celu określenia tempa i kierunku przemian zachodzących w zrekultywowanych gruntach pod wpływem zastosowanych zabiegów i wprowadzonej roślinności [Gołda 2007]. Obiekty zrekultywowane zajmują niekiedy znaczne powierzchnie i zbudowane są często z materiałów heterogenicznych pod względem składu mechanicznego, co powoduje konieczność wykonania znacznej ilości analiz laboratoryjnych w celu ich scharakteryzowania. Oznaczenia C i N w glebie mogą być wykonywane różnymi metodami – przykładowo zawartość C można oznaczać metodą Tiurina, Walkleya-Blacka lub metodą suchego spalania, którą wykorzystuje się w analizatorach automatycznych. Metody Tiurina i Walkleya-Blacka cechują się znaczną pracochłonnością, natomiast analiza z użyciem analizatorów automatycznych jest relatywnie droga i wymaga dobrze

* Katedra Górnictwa Odkrywkowego AGH Kraków

przeszkolonego personelu laboratoryjnego. W przypadku oznaczeń na potrzeby badań na dużych powierzchniach alternatywą dla wyżej wymienionych metod analitycznych mogłaby być spektroskopia w bliskiej podczerwieni (NIR, ang. – Near Infrared Spectroscopy).

Spektroskopia NIR jest niedestrukcyjną metodą analityczną cechującą się niskimi kosztami, prostotą, szybkością i dużą dokładnością oznaczeń a także możliwościami jednoczesnego oznaczania wielu składników i właściwości badanych materiałów [Chodak 2008]. Metoda ta wykorzystuje promieniowanie w zakresie 750-2500 nm, które jest absorbowane przez połączenia typu C-H, C-C, N-H, S-H itp. Często analityczny zakres spektralny rozszerzany jest o zakres światła widzialnego (400-750 nm). Spektroskopia NIR stosowana jest w przemyśle spożywczym i paszowym do oznaczania zawartości azotu, protein i szeregu innych składników produktów spożywczych i pasz [Shenk i Westerhaus 1994]. W ostatnich dekadach metodę tę z powodzeniem stosuje się do oznaczania szeregu właściwości gleb [Chodak 2008].

Celem niniejszej pracy jest ocena możliwości zastosowania spektroskopii NIR do oznaczania zawartości C i N w gruntach pogórnich zrekultywowanych w kierunku leśnym.

Metodyka badań

Badania przeprowadzono na obszarach zrekultywowanych przez kopalnię piasków Szczakowa. Próby gleb pobrano z warstwy mineralnej (0-5 cm) w 132 punktach zlokalizowanych w drzewostanach sosnowych, modrzewiowych, brzoźowych i olszowych, na terenach bezleśnych przygotowywanych do rekultywacji oraz w borach sosnowych sąsiadujących z obszarami zrekultywowanymi. Wiek drzewostanów wahał się od 6 lat (najmłodsze uwzględnione w badaniach nasadzenia sosnowe na terenach zrekultywowanych) do 100 lat (bór sosnowy rosnący na terenach nie objętych działalnością górniczą). W każdym punkcie pobrano próbkę ogólną złożoną z pięciu próbek pierwotnych. Próbkę zostały przesiane (2 mm), wysuszone do stałej masy w temperaturze 60°C i drobno zmielone.

Zawartości C i N oznaczono metodą suchego spalania przy użyciu analizatora automatycznego VarioMax CN.

Reflektancja próbek została zmierzona w zakresie 400-2500 nm (Vis-NIR) przy użyciu spektrofotometru Foss NIRSystems. Reflektancję każdej próbki zmierzono dwukrotnie, a widmo końcowe było średnią tych dwóch pomiarów. Do obróbki widm użyto wartości absorbancji (A) obliczonej ze wzoru $A = \log(1/\text{reflektancja})$.

Spektroskopia NIR jest pośrednią metodą analityczną. Stąd też analiza przy użyciu tej metody wymaga budowy modeli matematycznych wiążących kształt

widm badanych materiałów z mierzonymi właściwościami. Zbudowane modele muszą być następnie poddane walidacji przy użyciu niezależnego zestawu próbek.

W niniejszym eksperymencie próbki zostały losowo podzielone na dwa zestawy liczące po 66 próbek każdy. Jeden z zestawów (zestaw kalibracyjny) został użyty do budowy modeli kalibracyjnych natomiast drugi (zestaw walidacyjny) został użyty do przetestowania uzyskanych modeli predykcyjnych.

Do budowy modeli kalibracyjnych zastosowano zmodyfikowaną metodę najmniejszych częściowych kwadratów (MPLS – ang. Modified Partial Least Squares), która wykorzystuje całą dostępną informację spektralną. Ponieważ nie istnieje jeden uniwersalny sposób budowy modeli kalibracyjnych [Couteaux i in. 2003] najlepszy model wybrano metodą prób i błędów testując różne sposoby matematycznego przekształcenia danych spektralnych. Przekształcenie matematyczne widm obejmowało obliczenie pochodnych pierwszego, drugiego i trzeciego rzędu na fragmentach widm o różnej długości oraz wygładzenie widm na fragmentach o różnej długości. W celu wybrania optymalnego modelu kalibracyjnego zastosowano procedurę walidacji skrośnej (krzyżowej) z podziałem zestawu kalibracyjnego na sześć grup. Procedura walidacji skrośnej pozwala na uniknięcie nadmiernego dopasowania budowanych modeli umożliwiając wybór optymalnej liczby tzw. składowych głównych, które zawierają informację spektralną i które wykorzystywane są w równaniach predykcyjnych. Podstawowym kryterium wyboru optymalnego modelu kalibracyjnego była najmniejsza wartość błędu standardowego walidacji skrośnej (SECV – ang. Standard Error of Cross Validation).

Rozwinięte modele kalibracyjne przetestowano przy użyciu 66 prób z zestawu walidacyjnego. Walidacja polegała na analizie regresji pomiędzy wartościami stężeń C i N uzyskanymi metodami referencyjnymi oraz oznaczonymi metodą spektroskopii NIR. Parametrami opisującymi jakość modeli kalibracyjnych były: współczynnik korelacji (r), współczynnik regresji (a) oraz wartość RPD obliczona jako stosunek odchylenia standardowego w danych uzyskanych metodami referencyjnymi do standardowego błędu oszacowania uzyskanego metodą NIR (SEP – ang. Standard Error of Prediction). SEP obliczono na podstawie następującego wzoru:

$$SEP = ((n-1)^{-1} \sum_{i=1 \dots n} (y_i - x_i)^2)^{0.5},$$

gdzie:

n – liczba próbek w zestawie walidacyjnym,

y_i – wartość oznaczona metodą referencyjną

x_i – wartość oznaczona metodą spektroskopii NIR

Zastosowane zostały następujące kryteria przydatności rozwiniętych modeli kalibracyjnych:

Współczynnik korelacji $r > 0,94$; współczynnik regresji $1,05 > a > 0,95$ – model bardzo dobry

Współczynnik korelacji $r = 0,90 - 0,94$; współczynnik regresji $a = 0,90-0,95$ lub $a = 1,06 - 1,10$ – model dobry

Współczynnik korelacji $r > 0,80$; współczynnik regresji $a = 0,80-0,89$ lub $a = 1,11-1,20$ – model satysfakcjonujący

Wartości $r < 0,80$ i $a < 0,80$ lub $a > 1,20$ uznano za niesatysfakcjonujące. Dokładność modeli oszacowano używając wartości RPD przy czym za modele dokładne, przydatne do oznaczeń ilościowych uznano te o wartości RPD $> 2,0$. Modele o wartościach RPD = 1,4-2,0 uznano za nadające się do zgrubnego szacowania, natomiast te o RPD $< 1,4$ za nieprzydatne do analiz [Chang i Laird 2002].

Wyniki badań

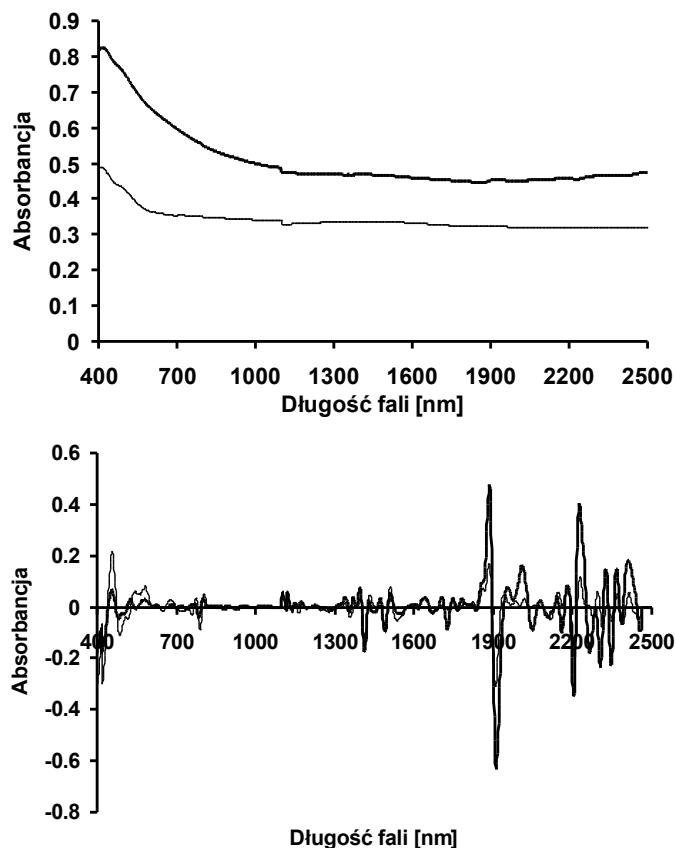
Surowe widma w zakresie NIR charakteryzowały się podobnym kształtem i brakiem łatwo wyróżnialnych pików (rys. 1). Wartości absorbancji były wyższe w zakresie widzialnym i spadały w zakresie NIR. Zauważalną cechą gleb o wyższej zawartości C były wyższe wartości absorbancji w zarówno w zakresie NIR jak i w zakresie widzialnym w porównaniu do próbek o niskiej zawartości C (rys. 1). Po matematycznym przekształceniu widm uwidocznił się szereg pików w szczególności w zakresach długości fali światła 1900-1910 nm i 2200-2500 nm.

Tab. 1. Wybrane parametry kalibracji modeli predykcyjnych dla zawartości C i N w glebach przemysłowych

Tab. 1. Selected predictive models calibration parameters for the C and N content in post-industrial soils

Pierwiastek	Rozstęp	SD	Przekształcenie	Liczba składowych głównych	SECV
C (mg g ⁻¹)	0,14 - 21,86	4,89	2, 8, 4	3	2,10
N (mg g ⁻¹)	0,01 - 1,32	0,28	2, 8, 4	4	0,11

Jednostki w pierwszej kolumnie odnoszą się do wartości rozstępu, odchylenia standardowego (SD) i błędu standardowego walidacji skróśnej (SECV). Liczby w kolumnie Przekształcenie określają kolejno: rząd pochodnej, długość odcinka spektrum na jakim pochodne obliczono oraz długość odcinka spektrum na jakim dokonano wygładzenia w nm.



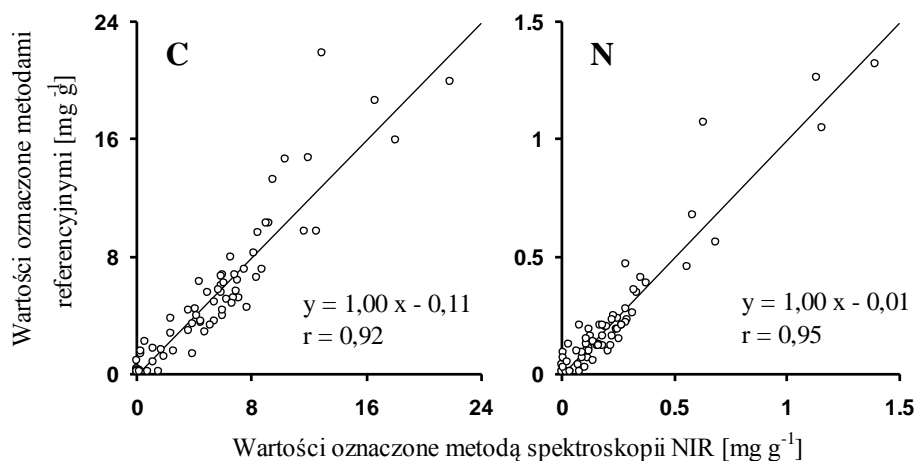
Rys. 1. Widma surowe oraz przekształcone (druga pochodna obliczona na odcinku o długości 8 nm przy wygładzeniu na odcinku o długości 4 nm) próbek o wysokiej (gruba linia) i niskiej (cienka linia) zawartości C

Fig. 1 Raw and transformed spectra (second derivative calculated from a distance of 8 nm at smoothing across a distance of 4 nm) of samples with high (thick line) and low (thin line) C content

Zawartość C w próbkach wahała się od 0,14 do 21,86 mg g⁻¹, a zawartość N od 0,01 do 1,32 mg g⁻¹, przy czym rozstęp wartości obu rozpatrywanych pierwiastków był nieco mniejszy w zestawie walidacyjnym.

Dla obu pierwiastków udało się rozwinąć potencjalnie przydatne modele kalibracyjne w oparciu o podobnie przekształcone widma (druga pochodna obliczona na odcinku o długości 8 nm przy wygładzeniu widma na odcinku o długości 4 nm). Wartości SECV wyniosły odpowiednio 2,10 i 0,11 mg g⁻¹ dla C i N (tab. 1). Rozwinięte modele predykcyjne pozwoliły na dokładne oszacowanie zawartości C i N w próbkach użytych do kalibracji (rys. 2). Wartości współczynnika korelacji pomiędzy wartościami referencyjnym a wartościami osza-

cowanymi metodą spektroskopii NIR wyniosły 0,92 i 0,95 odpowiednio dla C i N. Wartość współczynnika regresji dla modeli dla obu pierwiastków wyniosła 1,00.



Rys. 2. Kalibracja modeli predykcyjnych do oznaczania zawartości C i N w glebach pogórnich. Linia ciągła wskazuje wartości 1:1

Fig. 2. Calibration of predictive models for the C and N content determination in post-mining soils. Solid line indicates the value of 1:1

Test opracowanych modeli na niezależnym zestawie próbek walidacyjnych potwierdził ich przydatność do oznaczania C i N w glebach pogórnich. Wartości współczynników regresji wyniosły 0,96 i 0,91 (rys. 3), a współczynników korelacji (r) 0,90 i 0,92 odpowiednio dla C i N. Wartości standardowego błędu oszacowania (SEP) były niewielkie i wyniosły $1,89 \text{ mg g}^{-1}$ dla C i $0,09 \text{ mg g}^{-1}$ dla N a wartości RPD wyniosły odpowiednio 2,2 dla C i 2,6 dla N.

Dyskusja wyników

Widma badanych próbek w zakresie Vis-NIR charakteryzowały się podobnym kształtem i brakiem widocznych pików. Kształt widm badanych gleb po-przemysłowych był podobny do kształtu widm gleb naturalnych opisywanych przez innych autorów [Couteaux i inni 2003]. Wyższe wartości absorbancji w glebach o wyższej zawartości materii organicznej wynikały z większego udziału spektralnie aktywnej substancji (związków organicznych) w tych próbkach.

Zastosowanie drugich pochodnych widm pozwoliło na usunięcie szumów i wydobywanie informacji spektralnej, która mogła być użyta do budowy modeli kalibracyjnych. Wartości SECV uzyskane na etapie kalibracji były niskie

w porównaniu do wartości odchylenia standardowego mierzonych właściwości uzyskanych metodami referencyjnymi, co wskazywało na potencjalną przydatność modeli do analiz ilościowych.

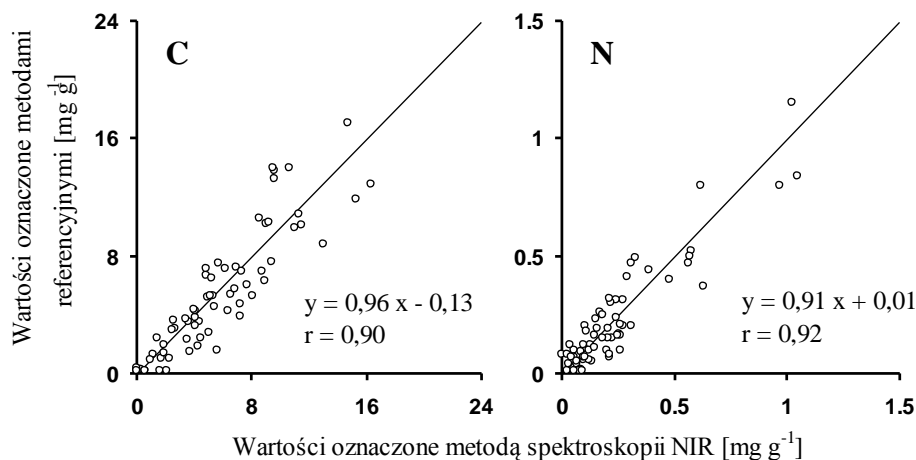
Tab. 2. Wybrane parametry walidacji modeli predykcyjnych dla zawartości C i N w glebach przemysłowych (mg g^{-1}).

Tab. 2. The chosen parameters of predictive models validation for the C and N content in post-industrial soils (mg g^{-1}).

Pierwiastek	Rozstęp	SD	SEP	RPD
C	0,14-17,06	4,17	1,89	2,2
N	0,01-1,15	0,23	0,09	2,6

Jednostki w pierwszej kolumnie odnoszą się do wartości rozstępu, odchylenia standardowego (SD) i błędu standardowego oszacowania (SEP). RPD określa stosunek SD do wartości SEP.

Walidacja z użyciem niezależnych próbek wykazała dobrą jakość modeli predykcyjnych i ich przydatność do oznaczeń ilościowych. Wartości RPD modeli predykcyjnych dla obu pierwiastków były wyższe niż 2, co wskazuje na przydatność modeli do oznaczeń ilościowych [Chang i inni 2001]. Spektroskopia NIR była stosowana do oznaczania zarówno C jak i N w naturalnych glebach leśnych i rolnych [Chang i inni 2001; Chang i Laird 2002; Fystro 2002; Couteaux i inni 2003; Cozzolino i Moron 2006] a uzyskiwane wyniki wskazują na przydatność tej metody do analizy gleb. Wartości r w cytowanych pracach wahały się od 0,89 do 1,00 dla C i od 0,89 do 0,99 dla N, natomiast zakres wartości RPD wynosił od 2,1 do 9,7. Wartości RPD dla modeli predykcyjnych dla C i N uzyskane w niniejszym eksperymencie mieszczą się w zakresie uzyskiwanym przez innych autorów dla gleb leśnych i uprawnych, co wskazuje, że spektroskopia NIR może być z powodzeniem zastosowana do oznaczania zawartości tych pierwiastków w zrekultywowanych glebach przemysłowych. Nieco niższe wartości współczynnika korelacji ($r = 0,91$ dla C i $r = 0,95$ dla N), które pozwoliły sklasyfikowanie uzyskanych modeli jedynie jako dobrych, a nie bardzo dobrych wynikają prawdopodobnie z mniejszej liczby prób użytej do kalibracji. Przykładowo w pracy Couteaux i innych [2003] do kalibracji użyto 153 próbek a w badaniach Changa i Lairda [2002] 72 próbek. Przypuszczalnie użycie większej liczby próbek do kalibracji pozwoliłoby na uzyskanie nieco dokładniejszych modeli predykcyjnych.



Rys. 3. Walidacja modeli predykcyjnych do oznaczania zawartości C i N w glebach pogórnictw. Linia ciągła wskazuje wartości 1:1

Fig. 3. Validation of predictive models for the determination of C and N content in post-mining soils. Solid line indicates the value of 1:1

Wnioski

- Widma gleb przemysłowych w zakresie Vis-NIR charakteryzowały się podobnym kształtem pozbawionym wyraźnie widocznych pików.
- Matematyczne przekształcenie widm pozwoliło na usunięcie szumów, wydobycie ukrytej informacji spektralnej i uzyskanie modeli predykcyjnych pozwalających na dokładne oznaczenie zawartości C i N w glebach przemysłowych.
- Z uwagi na niskie koszty analizy, niewielką pracochłonność oraz odpowiednią dokładność oznaczeń, spektroskopia w bliskiej podczerwieni może być metodą użyteczną do oznaczania zawartości C i N w glebach przemysłowych w przypadku gdy konieczne jest wykonanie dużej liczby oznaczeń.

Literatura

1. CHANG C.W., LAIRD D.A.: *Near-infrared reflectance spectroscopic analysis of soil C and N*. Soil Sci. 167, 110-116, 2002
2. CHANG C.W., LAIRD D.A., MAUSBACH M.J., HURBURGH C.R.: *Near infrared reflectance spectroscopy – principal components regression analyses of soil properties*. Soil Sci. Soc. Am. J. 65, 480-490, 2001

3. CHODAK M.: *Application of near infrared spectroscopy for analysis of soils, litter and plant materials*. Polish J. of Environ.Stud. 17, 631-642, 2008
4. COUTEAUX M.M., BERG B., ROVIRA P.: *Near infrared reflectance spectroscopy for determination of organic matter fractions including microbial biomass in coniferous forest soils*. Soil Biol. Biochem. 35, 1587-1600, 2003.
5. COZZOLINO D., MORON A.: *Potential of near-infrared reflectance spectroscopy and chemometrics to predict soil organic carbon fractions*. Soil Till. Res. 85, 78-85, 2006
6. FYSTRO G.: *The prediction of C and N content and their potential mineralisation in heterogenous soil samples using Vis-NIR spectroscopy and comparative methods*. Plant Soil 246, 139-149, 2002
7. GOŁDA T.: *Inicjalne procesy glebotwórcze zachodzące w szlamach poślota-cyjnych w wyniku upraw rekultywacyjnych i wieloletniego użytkowania rol-nego*. Uczelniane Wydawnictwa Naukowo-Dydaktyczne AGH, 2007
8. SHENK J.S., WESTERHAUS M.O.: *The application of near infrared spec-troscopy (NIRS) to forage analysis. National conference on forage quality evaluation and utilization*. Am. Soc. Agron., Madison, 406-449, 1994

APPLICATION OF NEAR INFRARED SPECTROSCOPY FOR ASSESSMENT OF C AND N CONTENTS IN TECHNOSOLS

S u m m a r y

Objective of the work was to assess usefulness of NIR spectroscopy for rapid estimation of C and N contents in reclaimed mine soils. The devel-oped calibration models enabled precise estimation of these two elements in an independent sample set. This indicates usefulness of NIR spectros-copy for C and N assessment in mine soils.

Key words: near infrared spectroscopy, soil C, soil N, technosols

URSZULA KOŁODZIEJCZYK*

ZASTOSOWANIE MAT BENTONITOWYCH W MODERNIZACJI WAŁÓW PRZECIWPOWODZIOWYCH

Streszczenie

Od czasu powodzi tysiąclecia, jaka miała miejsce w dorzeczu Odry w 1997r., prowadzi się intensywną modernizację wałów przeciwpowodziowych. Artykuł przedstawia skuteczność modernizacji wałów przeciwpowodziowych za pomocą mat bentonitowych produkowanych przez CETCO Poland. Zagadnienie to scharakteryzowano w oparciu o obliczenia filtracji i stateczności korpusu wału przeciwpowodziowego, zlokalizowanego na lewym brzegu lubuskiego odcinka Odry, na odcinku 528,6÷532,0 km biegu rzeki. W obliczeniach uwzględniono dwa przypadki: a) wał bez przegrody filtracyjnej oraz b) wał uszczelniony przesłoną z mat bentonitowych.

Słowa kluczowe: ochrona przeciwpowodziowa, wały przeciwpowodziowe, materiały uszczelniające, stateczność skarp

Wstęp

Bilans powodzi tysiąclecia, jaka miała miejsce w 1997 r. na lubuskim odcinku Odry (obejmującym odcinek od 408,0 do 620,0 km biegu rzeki) wyzwolił szereg inicjatyw służących poprawie ochrony przeciwpowodziowej. Mimo awaryjnych napraw wałów wykonanych bezpośrednio po powodzi, oraz kolejnych prac modernizacyjnych dokonanych w latach 1997-2009, nadal tylko około 35,4% wałów lubuskich znajduje się w dobrym stanie technicznym, natomiast 37,8% wałów pozostaje w stanie średnim, a 26,8% – w stanie złym [Kołodziejczyk 2002].

Pomimo oczywistego faktu, że o skuteczności wałów decyduje przede wszystkim ich lokalizacja oraz przepuszczalność podłoża – zatem czynniki niemożliwe do usunięcia wskutek modernizacji wałów – prowadzi się nadal różnorodne działania wspomagające skuteczność zabezpieczeń przeciwpowodziowych. Przykładem są opisane w tej pracy rozwiązania, polegające na zasto-

* Uniwersytet Zielonogórski, Instytut Inżynierii Środowiska

sowaniu mat bentonitowych (zwanym Bentomatem), które po uwodnieniu tworzą spójną i jednorodną barierę hydrauliczną. Zastosowano je na odcinku wałów Wężyska-Chlebowo o długości 3,4 km (528,6÷532,0 km biegu Odry).

Metodyka badań

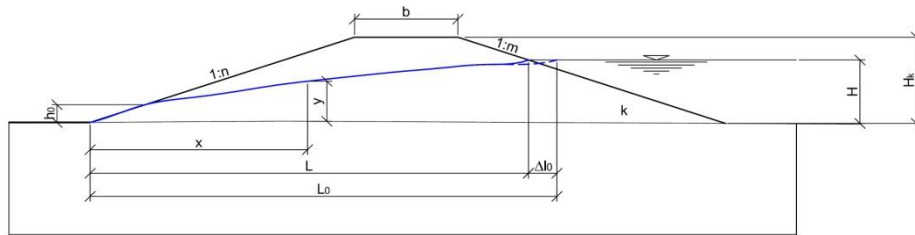
Do oceny skuteczności rozwiązań polegających na uszczelnieniu wałów matą bentonitową wykorzystano obliczenia natężeń przepływu wody przez wały przeciwpowodziowe oraz stateczności skarp wałów. W obliczeniach tych przyjęto pewne uproszczenia, zakładające poziome linie prądu i gradienty równe nachyleniu linii depresji. W zależności od warunków miejscowych, tj. rodzaju podłoża i jego przepuszczalności oraz sposobu uszczelnienia korpusu wału, uwzględniono następujące przypadki: 1. wał bez uszczelnienia oraz 2. wał uszczelniony Bentomatem, a także – parametry geotechniczne gruntu wbudowanego w wał oraz właściwości Bentomatu.

Zgodnie z projektem modernizacji wału, opracowanym przez EKOPROJEKT Zielona Góra [2010] przyjęto, że:

- obiekt będzie zbudowany z gruntów niespoistych, reprezentowanych przez: piaski grube ze żwirem (Pr+Ż), piaski grube przewarstwione piaskami średnioziarnistymi ze żwirem (Pr/Ps+Ż) oraz piaski grube ze żwirem przewarstwione pospółką (Pr+Ż/Po), o średniej przepuszczalności $k_k = 55,0 \text{ m/d}$,
- maksymalny słup wody przed uszczelnieniem (od strony odwodnej) odpowiadać będzie poziomowi wody stułetniej ($Q_{1\%}$) i trzystułetniej ($Q_{0,3\%}$),
- wykładziny przeciwnafiltracyjne z Bentomatu zastosowane będą jako uszczelnienie odwodnej strony wału,
- parametry maty bentonitowej [CETCO Poland 2009] będą wynosić: grubość zhydratyzowanego Bentomatu $d = 0,01 \text{ m}$, przepuszczalność $k_e \leq 4,510^{-11} \text{ m/s}$, zawartość bentonitu $m \geq 3000 \text{ g}$ na 1 m^2 maty (przy wilgotności bentonitu 12%), masa powierzchniowa $\rho \geq 3300 \text{ g/m}^2$, kąt tarcia wewnętrznego $\Phi_b \geq 26$ (przy pełnym nasyceniu wodą).

Jednostkowe natężenie przepływu przez korpus wału o szerokości 1 m (w wale bez drenażu, posadowionym na podłożu słabo przepuszczalnym) wyznaczono ze wzoru Michajłowa [Borys i Mosiej 2003], gdzie k oznacza współczynnik filtracji gruntu w korpusie wału [m/s], a pozostałe oznaczenia jak na rys. 1:

$$q = k \frac{H^2}{L_o + \sqrt{L_o^2 - (mH)^2}}$$



Rys. 1. Schemat wyznaczania filtracji wody przez korpus wału
 Fig. 1. Diagram of water filtration designation through the corpus of the embankment

Wysokość wysączenia h_o na skarpie odpowietrznej wyznaczono korzystając z zależności:

$$h_o = \frac{q(n\alpha + 6 - \alpha)}{4k}$$

gdzie: h_o - wysokość wysączenia na skarpie odpowietrznej [m],

q – jednostkowe natężenie przepływu wody przez korpus wału [$\text{m}^3/\text{dobę}$],

n – nachylenie skarpy odpowietrznej (zgodnie z założeniem projektu: $n=3$ [-]),

α – współczynnik ($\alpha = 4$ dla $n \geq 1$),

k - współczynnik filtracji gruntu w korpusie wału [$\text{m}/\text{dobę}$].

Wyniki badań

Wyniki badań, obejmujących: analizę **filtracji** przez nieuszczelniony wał posadowiony na podłożu słabo przepuszczalnym, przy przepływie $Q_{1\%}$ oraz $Q_{0,3\%}$ zaprezentowano w tab. 1.

Tab. 1. Wyniki obliczeń filtracji wody przez nieuszczelniony wał przeciwpowodziowy
 Tab. 1. The results of water filtration calculations through the unsealed flood bank

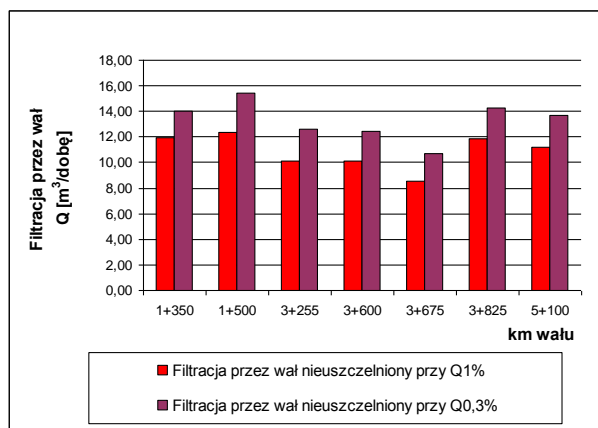
Kilometraż wału	Filtracja w przekroju wału przy wysokości słupa wody odpowiadającego $Q_{1\%}$ [$\text{m}^3/\text{dobę}$]	Filtracja w przekroju wału przy wysokości słupa wody odpowiadającego $Q_{0,3\%}$ [$\text{m}^3/\text{dobę}$]	Wysokość wysączenia wody na skarpie odpowietrznej przy $Q_{1\%}$ h_o [m]	Wysokość wysączenia wody na skarpie odpowietrznej przy $Q_{0,3\%}$ h_o [m]
3+600	10,15	12,46	0,65	0,79
5+100	11,23	13,71	0,71	0,87

Obliczenia filtracji w wale uszczelnionym ograniczono do samego materiału uszczelniającego (Bentomatu) przyjmując, że strumień wody, który przedostanie się przez warstwę Bentomatu i będzie filtrował w grunt będzie na tyle znikomy, że nie wpłynie to znacząco na ostateczną wartość filtracji wody przez wał. Wyniki tych obliczeń podano w tab. 2.

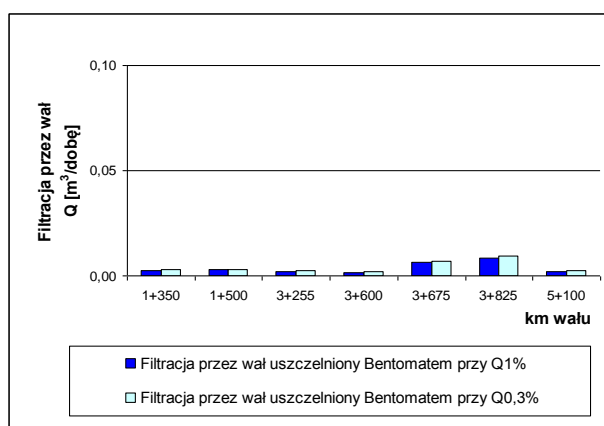
Tab. 2. Wyniki obliczeń filtracji przez wał przeciwpowodziowy wzmocniony Bentomatem
Tab. 2. The results of filtration calculations across anti-flood embankment enforced with Bentomat

Kilometraż wału	Filtracja w przekroju wału przy wysokości słupa wody od- powiadającego $Q_{1\%}$ [m ³ /dobę]	Filtracja w przekroju wału przy wysokości słupa wody odpowiadającego $Q_{0,3\%}$ [m ³ /dobę]	Wysokość wysączenia wody na skarpie od- powietrznej przy $Q_{1\%}$ h_o [m]	Wysokość wysączenia wody na skarpie od- powietrznej przy $Q_{0,3\%}$ h_o [m]
1+350	0,0026	0,0029	0,0002	0,0002
1+500	0,0028	0,0032	0,0002	0,0002
3+255	0,0020	0,0024	0,0001	0,0002
3+600	0,0017	0,0020	0,0001	0,0001
3+675	0,0063	0,0071	0,0004	0,0005
3+825	0,0085	0,0093	0,0005	0,0006
5+100	0,0020	0,0023	0,0001	0,0001

Porównując otrzymane wyniki filtracji przez wał nieuszczelniony (rys. 2) oraz uszczelniony (rys. 3) można wnioskować, iż instalacja zabezpieczeń przeciwnfiltracyjnych w postaci Bentomatu wpływa jednoznacznie na ograniczenie intensywności filtracji wody w obrębie wału przeciwpowodziowego. Przykładowo, przy słupie wody odpowiadającemu wodzie 100-letniej ($Q_{1\%}$), na 3+600 km wału filtracja przez nieuszczelniony wał wyniosła 10,15 m³/dobę, a po uszczelnieniu skarpy wału Bentomatem - zaledwie 0,0017 m³/dobę (zmniejszyła się o 99,98%). Tendencję znacznego obniżenia filtracji stwierdzono również w przypadku analizy poziomu słupa wody odpowiadającego wodzie 300-letniej ($Q_{0,3\%}$). Przykładowo, w przekroju zlokalizowanym na 3+600 km wału filtracja wody przez wał bez uszczelnienia wyniosła 12,46 m³/dobę, a po zastosowaniu Bentomatu ruch wody zmniejszył się do 0,002 m³/dobę, czyli spadł o 99,98%.



Rys. 2. Zestawienie obliczeń filtracji przez wał nieuszczelniony
Fig. 2. Summary filtration calculations through the unsealed embankment



Rys. 3. Zestawienie obliczeń filtracji przez wał uszczelniony Bentomatem
Fig. 3. Summary of calculations through the embankment sealed with Bentomat

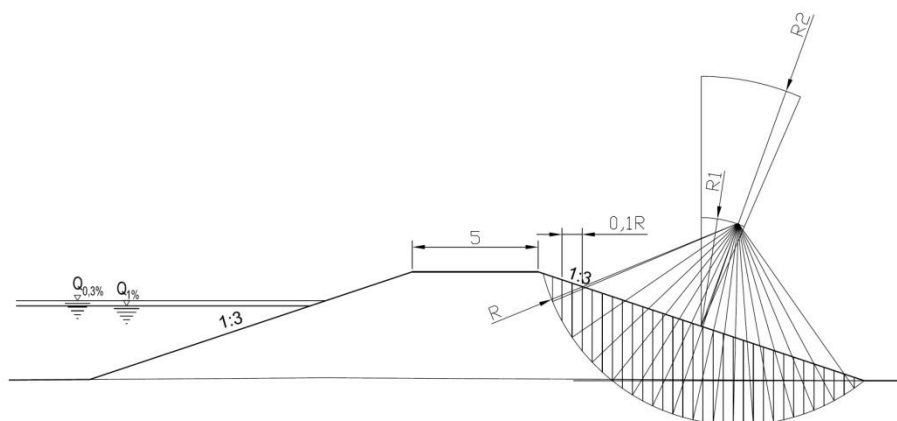
Ocenę **stateczności** wałów przeciwpowodziowych i ich zagrożenia osuwiskowego wykonano poprzez analizę wskaźnika stateczności (współczynnika stanu równowagi) F , obliczonego ze stosunku $F = U_i / Z_i$, gdzie: U_i – uogólnione siły utrzymujące wywołane tarcieniem i spójnością materiału, a Z_i – uogólnione siły zsuwające wywołane siłami grawitacji oraz filtracją i obciążeniem [Głazer 1977, Kołodziejczyk 2007, 2009]. Wykorzystano tutaj metodę Felleniusa [Borys i Mosiej 2008, Madej 1981, Pisarczyk 2005].

Obliczenia stateczności korpusu wału przeciwpowodziowego przeprowadzono w tych samych przekrojach poprzecznych analizowanego odcinka wału Wężyska – Chlebowo”, co powyższe obliczenia filtracji, porównując jednocze-

śnie stateczność wału uszczelnionego Bentomatem ze statecznością wału nieuszczelnionego. Uwzględniono w nich zarówno geometrię wału jak i parametry inżyniersko-geologiczne korpusu i podłoża wału, przyjmując że:

- wał ma wysokość 4,10 – 4,81 m, zróżnicowaną lokalnie ze względu na hipsometrię terenu,
- skarpy nasypu mają nachylenie 1:3 (zarówno od strony rzeki jak i zawala),
- szerokość wału w koronie wynosi 5 m,
- wysokość korony w stosunku do poziomu międzywala wynosi od 4,31 m w początkowym odcinku wału (km 1+350), poprzez 4,10 m (km 3+675), aż do 4,81 m w końcowej części wału (km 5+100),
- wysokość korony w stosunku do zawala osiąga wartość od 4,29 m (km 3+675) do 4,97 m (km 3+825).

Ocenę stateczności nieuszczelnionych wałów przeciwpowodziowych przeprowadzono poprzez obliczenie wskaźnika stateczności F skarpy odpowietrznej wałów, wykorzystując metodę szwedzką (Falleniusa). Obliczenia wskaźnika stateczności F przeprowadzono dla siedmiu wyznaczonych przekrojów badawczych, uwzględniając geometrię wału oraz parametry inżyniersko-geologiczne korpusu i podłoża wału (rys. 4).



Rys. 4. Schemat obliczeń wskaźnika stateczności wałów F metodą Falleniusa
Fig. 4. Schema of the embankments stability index (F) calculation with the Fallenius method

Za podstawę ustalenia kategorii zagrożenia utratą stateczności wału przyjęto wartość wskaźnika F_{\min} , uwzględniającą wymagany współczynnik konsekwencji zniszczenia budowli hydrotechnicznej γ_n dla danej klasy wału.

Ustalenie kategorii zagrożenia stateczności przeprowadzono według następujących kryteriów:

kategoria 1; $F_{lmin} \geq 1,1 \cdot \gamma_n$

kategoria 2; $0,9 \cdot \gamma_n < F_{lmin} < 1,1 \cdot \gamma_n$

kategoria 3; $F_{lmin} \leq 0,9 \cdot \gamma_n$

gdzie: F_{lmin} – minimalna wartość wskaźnika stateczności, 1,1 lub 0,9 – współczynnik materiałowy,

γ_n – wymagana wartość współczynnika konsekwencji zniszczenia budowli hydrotechnicznej dla danej klasy wałów.

Za podstawę oceny zagrożenia stateczności wału przyjęto skorygowaną wartość wskaźnika stateczności F_{lmin} , uzyskaną z wymnożenia wskaźnika stateczności F przez współczynnik konsekwencji zniszczenia budowli hydrotechnicznej γ_n , wymagany dla danej klasy wałów (zgodnie z Rozporządzeniem Ministra Środowiska - Dz.U. 07 nr 86, poz. 579 z dnia 20 kwietnia 2007 r. w sprawie warunków technicznych, jakim powinny odpowiadać budowle hydrotechniczne i ich usytuowanie). Pozwoliło to na wydzielenie trzech kategorii wałów pod względem stateczności. Zgodnie z przyjętym powyżej sposobem oceny zagrożenia, w ocenie stateczności wałów przyjęto kryteria podane w tab. 3.

Tab. 3. Kategorie zagrożenia stateczności wału przeciwpowodziowego

Tab. 3. Flood bank stability hazard categories

Klasa wału	Kategoria 1	Kategoria 2	Kategoria 3
I	$F_{lmin} \geq 1,43$	$1,17 < F_{lmin} < 1,43$	$F_{lmin} \leq 1,17$
II	$F_{lmin} \geq 1,32$	$1,08 < F_{lmin} < 1,32$	$F_{lmin} \leq 1,08$
III	$F_{lmin} \geq 1,26$	$1,03 < F_{lmin} < 1,26$	$F_{lmin} \leq 1,03$
IV	$F_{lmin} \geq 1,21$	$1,00 < F_{lmin} < 1,21$	$F_{lmin} \leq 1,00$

Zestawienie uzyskanych wyników podano w tab. 4, gdzie uwzględniono wskaźnik stateczności wyznaczony metodą Falleniusa. Dla celów praktycznych, w obliczeniach stateczności przyjęto warunek $F_{lmin} = F_{dop} = 1,1 \div 1,3$, zależny od rodzaju (ważności) obiektu i dokładności rozpoznania właściwości mechanicznych gruntów.

Zbiorcza klasyfikacja, dokonana dla poszczególnych przekrojów badawczych w obrębie odcinka zbadanych wałów bez uszczelnienia wykazała możliwość utraty stateczności w przekrojach zlokalizowanych na 1+350, 1+500, 3+600, 3+675 i 3+825 km wału.

Podobne obliczenia przeprowadzono dla analizowanego wału uszczelnionego przgródą hydroizolacyjną z Bentomatu (tab. 5).

Tab. 4. Wyniki obliczeń stateczności nieuszczelnionego wału przeciwpowodziowego
 Tab. 4. Results of unsealed flood bank stability calculations

Kilometraż wału [km]	Wskaźnik stateczności F [-]	Skorygowany wskaźnik stateczności F_{lmin} [-]
1+350	1,04	1,20
1+500	1,08	1,24
3+255	1,11	1,28
3+600	1,00	1,15
3+675	0,76	0,87
3+825	0,68	0,79
5+100	1,15	1,32

Tab. 5. Wyniki obliczeń stateczności wału przeciwpowodziowego uszczelnionego Bentomatem
 Tab. 5. Results of flood bank sealed with Bentomat stability calculations

Kilometraż wału	Wskaźnik stateczności F [-]	Skorygowany wskaźnik stateczności F_{lmin} [-]
1+350	1,43	1,65
1+500	1,54	1,77
3+255	1,56	1,79
3+600	1,44	1,66
3+675	1,19	1,37
3+825	1,16	1,33
5+100	1,60	1,84

Analizując wyniki stateczności wału uszczelnionego Bentomatem można stwierdzić, że we wszystkich przekrojach stwierdzono $F > 1,1$, co gwarantuje właściwą stateczność korpusu wału. Najwyższy współczynnik stateczności ($F=1,60$) wykazał wał uszczelniony matą bentonitową w przekroju zlokalizowanym na 5+100 km wału, a w pozostałych przekrojach stateczność wahała się w granicach od $F=1,16$ (3+825 km wału) do $F=1,60$ (5+100 km wału).

Wnioski

Badania dotyczące obliczenia filtracji wody przez korpus wału przeciwpowodziowego Wężyska-Chlebowo wykazały, że zastosowanie ekranów przeciwfiltracyjnych w postaci mat bentonitowych znacznie obniży filtrację wody (o ponad 99%),

Obliczenia stateczności wałów przeciwpowodziowych wykazały, że:

- w wałach nieuszczelnionych uzyskany wskaźnik stateczności skarp był jedynie w dwóch przekrojach (3+255 i 5+100 km wału) niewiele wyższy od wymaganego minimum ($F > 1,1$), a w pozostałych pięciu przekrojach (1+350, 1+150, 3+600, 3+675 i 3+825 km wału) osiągnął wartości znacznie niższe od minimalnej i wynosił od $F = 0,68$ do $F = 1,0$ (poniżej minimalnej wartości gwarantującej bezpieczeństwo obiektu),
- w wałach uszczelnionych Bentomatem, wartość uzyskanego wskaźnika stateczności była wyższa od wymaganego minimum ($F > 1,1$) i wynosiła od $F = 1,16$ do $F = 1,60$.

Metoda uszczelnienia wałów Bentomatem jest dobrym rozwiązaniem konstrukcyjnym pod względem filtracji przez wał i stateczności skarp.

Bentomat odgrywa znaczącą rolę we wzmacnianiu i uszczelnieniu wałów przeciwpowodziowych, a w konsekwencji - zapewnieniu skutecznej ochrony przeciwpowodziowej.

Literatura

1. BORYS M., MOSIEJ K.: *Wytyczne wykonywania oceny stanu technicznego i bezpieczeństwa wałów przeciwpowodziowych*. Wyd. IMUZ, Falenty 2003
2. BORYS M., MOSIEJ K.: *Ocena stanu technicznego obwałowań przeciwpowodziowych*. Wyd. IMUZ, Falenty 2008
3. CETCO Poland: *Bentomat – informacje techniczne*. Wyd. CETCO Poland Sp. z o.o., Szczytno 2009
4. EKOPROJEKT ZIELONA GÓRA: *Zestawienie uogólnionych charakterystycznych wartości parametrów geotechnicznych gruntów w korpusie projektowanego wału Wężyska-Chlebowo – wał*. [W:] Wężyska – Chlebowo - budowa lewostronnego wału przeciwpowodziowego rzeki Odry w km 528,6÷532,0, gm. Maszewo, Gubin i Krosno Odrz., Zielona Góra 2010
5. MADEJ J.: *Metody sprawdzania stateczności zboczy*. Biblioteka Drogownictwa. WKiŁ, Warszawa 1981
6. KOŁODZIEJCZYK U.: *Geologiczno-inżynierskie badania wałów przeciwpowodziowych i ich podłoża*. Wyd. Oficyna Wydawnicza Uniwersytetu Zielonogórskiego, Zielona Góra 2002
7. KOŁODZIEJCZYK U.: *Sposoby ograniczenia filtracji wody przez wały przeciwpowodziowe na lubuskim odcinku Odry*. Przegląd Geologiczny, T. 55, nr 3, 2007, s. 247-252
8. KOŁODZIEJCZYK U.: *Ocena uszczelnienia wałów przeciwpowodziowych za pomocą mat bentonitowych*. [W:] Problemy geotechniczne i środowiskowe z uwzględnieniem podłoża ekspansywnych. Wydawnictwa Uczelniane UTP, Bydgoszcz 2009, s. 259-268

9. PISARCZYK S.: *Mechanika gruntów*. Wyd. Politechniki Warszawskiej, Warszawa 2005
10. ROZPORZĄDZENIE MINISTRA ŚRODOWISKA z dnia 20 kwietnia 2007 r. w sprawie warunków technicznych, jakim powinny odpowiadać budowle hydrotechniczne i ich usytuowanie (Dz.U. 07 nr 86, poz. 579)

APPLICATION OF BENTONIT MATS IN FLOOD BANKS MODERNIZATION

S u m m a r y

From the time of millennium flooding which happened in Odra basin in 1997, intensive modernization of flood banks is carried on. This article shows effectiveness of flood banks modernization with the use of bentomat produced by CETCO Poland. This problem has been described on the basis of filtration and stability calculations of the flood banks body localised on left bank in part of Odra in lubuskie - on 528,6-532,0 km course of the river. In calculations two cases were taken into consideration: a) flood bank without filtration partition and b) flood bank sealed with bentomat.

Key words: flood safety, flood banks, sealing materials, slope stability

BARBARA BIELOWICZ***WYBRANE PIERWIASTKI SZKODLIWE
W WĘGLU BRUNATNYM ZE ZŁOŻA „GUBIN”***Streszczenie*

Badania objęły analizę 20 próbek miocęńskiego węgla brunatnego ze złoża „Gubin” z 8 otworów wiertniczych. Metodą INAA analizowano zawartość metali ciężkich: As, Zn, Se, Hg i pierwiastków promieniotwórczych: Th, U, a metodą ASA: Cd i Pb. Badania wykazały, że kopalina nie zawiera wyraźnych koncentracji tych pierwiastków, a jedynie podwyższoną zawartość As, Th i U, która jest związana z dużym zapozieleniem badanych próbek.

Słowa kluczowe: złożo węgla brunatnego „Gubin”, pierwiastki toksyczne, pierwiastki promieniotwórcze

Wstęp

Polska jest jednym z największych producentów węgla brunatnego z udokumentowanymi 14 miliardami ton węgla brunatnego w ponad 150 złożach oraz 35-41 miliardami ton w zasobach prognostycznych [Ney 2004]. Obecnie funkcjonują cztery duże kopalnie węgla brunatnego, które po udostępnieniu złóż przewidzianych do eksploatacji pozwolą na utrzymanie rocznego wydobycia węgla brunatnego w Polsce na poziomie około 60 mln ton do roku 2025. Przewiduje się, że po roku 2020 będzie następował systematyczny spadek wydobycia w tych kopalniach. Jednak do 2025-2030 planowane jest przygotowanie i rozpoczęcie eksploatacji nowych złóż: „Legnica”, „Gubin” i złóż satelickich czynnych kopalń, co przy obecnej produkcji wystarczyłoby na wiele lat, stanowiąc jednocześnie tanie i rodzime źródło energii elektrycznej [Prognoza zapotrzebowania, 2009; Program działań wykonawczych...2009; Turek 2005]. Taki krok niewątpliwie przyczyniłby się do poprawy bezpieczeństwa energetycznego kraju.

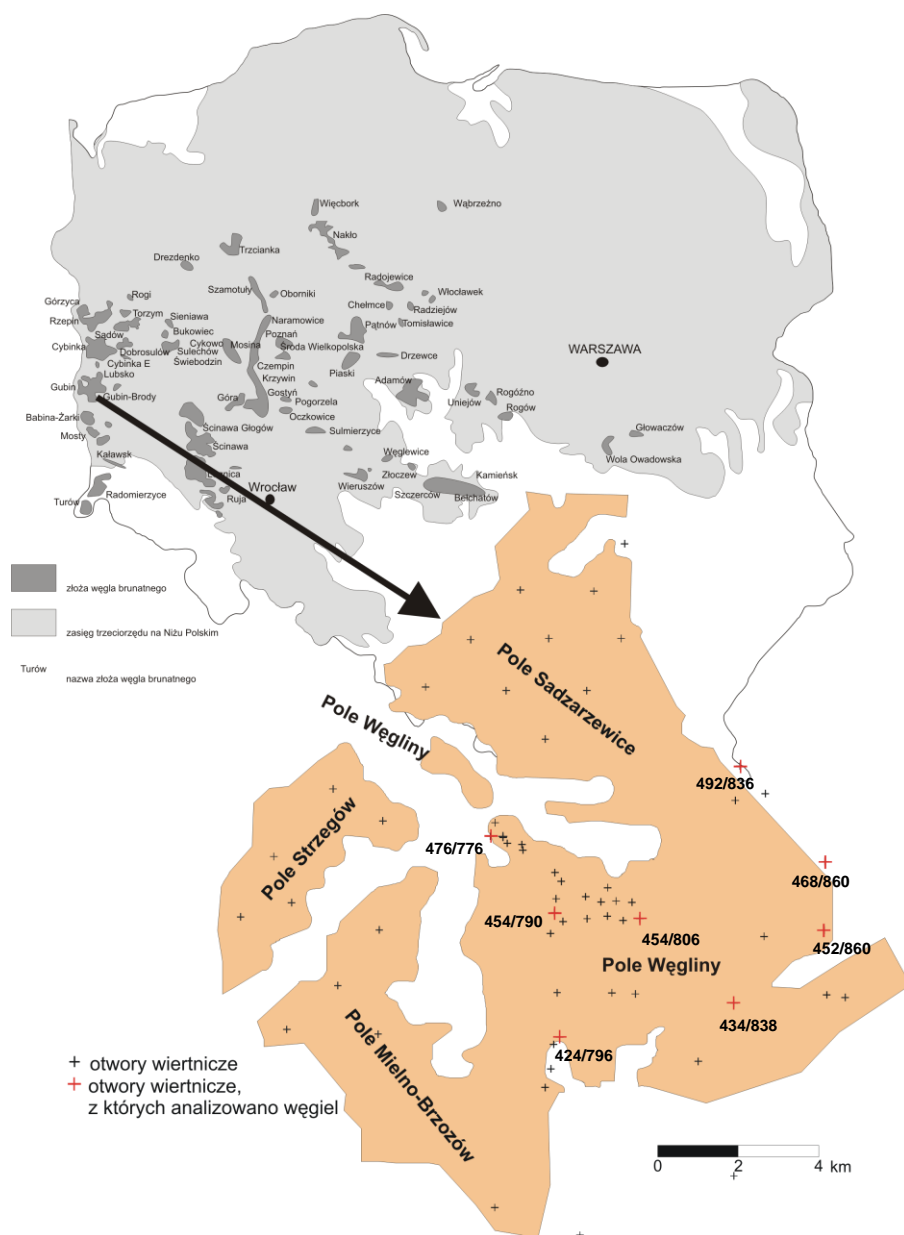
* Akademia Górniczo-Hutnicza im. St. Staszica w Krakowie, Wydział Geologii, Geofizyki i Ochrony Środowiska

Mając na uwadze problemy związane z negatywnym oddziaływaniem na środowisko podczas użytkowania węgla, szczególnie w procesie spalania powinno się -już na etapie dokumentacji – dokładnie określić zawartość potencjalnie niebezpiecznych i toksycznych domieszek w badanym paliwie. Przez domieszki niebezpieczne należy rozumieć w głównej mierze pierwiastki szkodliwe dla człowieka w małym stężeniu (Pb, Hg, Cd, Be), w większym stężeniu (As, Zn, Se, F, S) oraz promieniotwórcze (U, Th, Ra i izotopy Rb, K) [Wagner 1995, 2001; Kabata-Pendias, Pendias 1999].

Przedstawienie obiektu badań

Złoże węgla brunatnego „Gubin” zlokalizowane jest w województwie lubuskim, w południowo-zachodniej części Pojezierza Południowobałtyckiego [Kondracki 2002] na terenie mezoregionów fizycznogeograficznych: Wzniesienie Gubińskie i Kotlina Zasięcka. Jest ono jednym z miocénskich złóż węgla brunatnego kompleksu rozciągającego się po obu stronach granicy polsko-niemieckiej między Finsterwalde, Zieloną Górą, Kostrzynem i Hoyeswerdą. Pod względem geologicznym znajduje się ono w północnej części monokliny przedsudeckiej i południowo-zachodniej części niecki szczecińskiej.

Obszar złoża to 73,3 km². W jego obrębie wyróżniono cztery pola górnicze wynikające z nieciągłości pokładów: Sadzarzewice, Węgliny, Strzegów i Mielno-Brzozów (rys.1). Złoże węgla brunatnego Gubin zalicza się do stratyfikowanych kratonicznych złóż pokładowo-reliktowych. Jest złożem wielopokładowym złożonym z II-łużyckiej i IV- dąbrowskiej grupy pokładów. Miejscami w skład tego złoża wchodzi także III-ścinawska grupa pokładów. Zasoby geologiczne węgla brunatnego w tym złożu wynoszą około 1,6 mld Mg [Dodatek...2009]. II grupa pokładów wykształcona jest w postaci pokładu o budowie złożonej, który składa się z 1-3 ławic węglowych o miąższości od 0,3 do 10,8 m i całkowitej miąższości od 4,0 do 17,4 m, podczas gdy miąższość ławic IV grupy pokładów wynosi od 7,4 do 22,2 m.



Rys. 1 Mapa rozmieszczenia złóż węgla brunatnego w Polsce wg Kasińskiego i in. [2006] uzupełniona o złożo węgla brunatnego „Gubin” (na podstawie dokumentacji geologicznej, uzupełniony)

Figure 1 Map of the brown coal deposits in Poland location by Kasiński et al. [2006] supplemented by "Gubin" brown coal deposit (based on the geological documentation, supplemented)

Metodyka badań

W badaniach zostało wykorzystane 20 próbek węgla brunatnego pochodzącego z 8 otworów wiertniczych zaznaczonych na rysunku 1 rozmieszczonych w siatce regularnej. Numery próbek i otworów podano w tabeli 1. Wiercenia zostały wykonane systemem obrotowym z płuczką z pełnym uzyskiem rdzenia. Z rdzenia pobrano próbki bruzdowe, które suszono i rozdrabniano w młynie kulowym do wielkości ziarna 1 mm. Do analizy na zawartość pierwiastków pobrano próbkę węgla o masie 10g i rozdrobniono ją do średnicy ziaren 100µm. Pierwiastki śladowe oznaczano metodą instrumentalnej neutronowej analizy aktywacyjnej (INAA – Instrumental Neutron Activation Analysis) w laboratorium „Activation Laboratories Ltd – ACTLABS” w Kanadzie za pośrednictwem spółki akcyjnej *Geo-Analiza*. Oznaczenie zawartości ołowiu i kadmu wykonano metodą spektrofotometrii absorpcyjnej (ASA) przy pomocy spektrofotometru PHILIPS PU 9100X w Akademii Górniczo-Hutniczej w Krakowie. Analizę technologiczną, głównie popielność węgla, wykonano metodą wagową w laboratorium Katedry Geologii Złożowej i Górniczej Akademii Górniczo-Hutniczej w Krakowie według normy PN-ISO 1171. Wszystkie wyniki podane są w stanie suchym.

Wyniki oznaczeń poddano analizie statystycznej. Zbadano współczynniki korelacji liniowej między zawartością arsenu oraz toru a popielnością węgla.

Wyniki badań

Wyniki oznaczeń zawartości niektórych pierwiastków szkodliwych w węglu brunatnym ze złoża „Gubin” zostały przedstawione w tabeli 1.

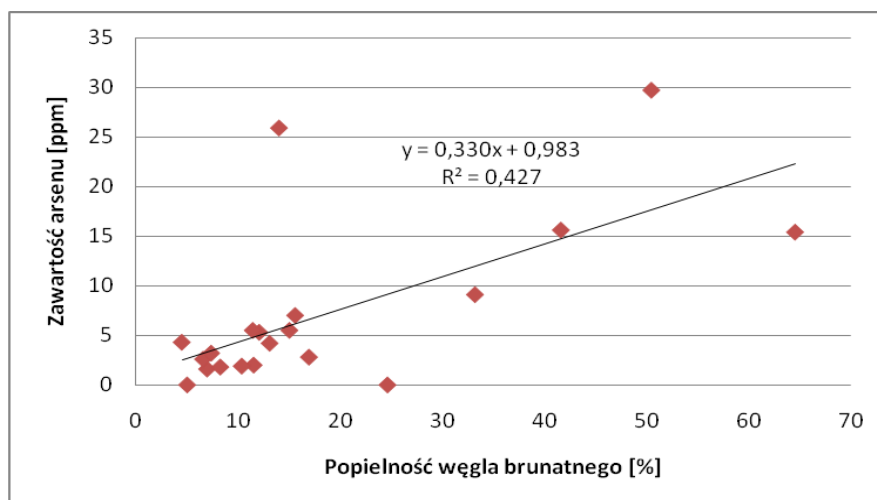
Tab. 1. Zestawienie wyników oznaczeń pierwiastków szkodliwych w węglu brunatnym ze złoża „Gubin”

Tab. 1. The scoreboard of harmful elements analysis in brown coal from a "Gubin" deposit

Próbka	Pokład	Popie lność	As	Zn	Se	Hg	Th	U	Cd	Pb
jednostka		%	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm
Metoda oznaczenia			INAA						ASA	
Zakres w węglu wg Kabata- Pendias, Pendias, 1999			5-15	50- 150	3-4,1	0,01-1	1,9	1-1,6	0,05- 0,2	20-52

Dopuszczalne stężenie w glebach ciężkich w mg/kg (Min. Środ. 2002)			20	300	3-10	2			1,5	100
Dopuszczalne stężenie w wodach III klasy czystości w ml/l (Min. Środ.1991)			0,2	1,0	0,01	0,01	-	-	0,1	0,05
Toksyczna dawka dzienna dla człowieka wg Kabata-Pendias, Pendias, 1999			5-50 mg	150-600 mg	400 µg	43µg	-	1,75µg	70µg	250-500µg
424/796 1	II	17.01	2.8	< 50	< 3	< 1	0.9	< 0.5	n.o	n.o
434/838 1		33.27	9.1	< 50	< 3	< 1	4.2	2.6	n.o	n.o
434/838 4		7.04	1.6	3.15	< 3	0.15	0.3	< 0.5	0.00	7.08
454/790 1		8.33	1.8	< 50	< 3	< 1	0.6	0.7	n.o	n.o
454/790 6		6.65	2.6	< 50	< 3	< 1	0.2	< 0.5	n.o	n.o
454/790 11		50.54	29.7	90	< 3	< 1	7.7	6.3	n.o	n.o
454/806 2		5.09	0.5	< 50	< 3	< 1	0.2	< 0.5	n.o	n.o
468/860 1		41.68	15.6	5.57	< 3	0.08	4.2	2.8	0.32	19.6
476/776 1		11.60	2	70	< 3	< 1	0.8	< 0.5	n.o	n.o
476/776 4		7.44	3.2	< 50	< 3	< 1	0.6	< 0.5	n.o	n.o
492/836 1		14.08	25.9	< 50	< 3	< 1	1	1.1	n.o	n.o
492/836 2		64.61	15.4	< 50	< 3	< 1	10.8	4.4	n.o	n.o
434/838 7	III	10.43	1.9	< 50	< 3	< 1	0.2	< 0.5	n.o	n.o
468/860 3	IV	15.66	7	< 50	< 3	0.06	2.8	1.8	0.47	38.6
434/838 8		13.16	4.2	< 50	< 3	< 1	1.9	< 0.5	n.o	n.o
452/860 2		12.14	5.3	< 50	< 3	< 1	1.3	1	n.o	n.o
452/860 4		4.56	4.3	< 50	< 3	< 1	0.2	< 0.5	n.o	n.o
452/860 6		11.51	5.5	< 50	< 3	< 1	0.6	< 0.5	n.o	n.o
452/860 7		15.10	5.5	< 50	< 3	< 1	1.5	< 0.5	n.o	n.o
468/860 5		24.70	0.5	< 50	< 3	< 1	0.5	< 0.5	n.o	n.o

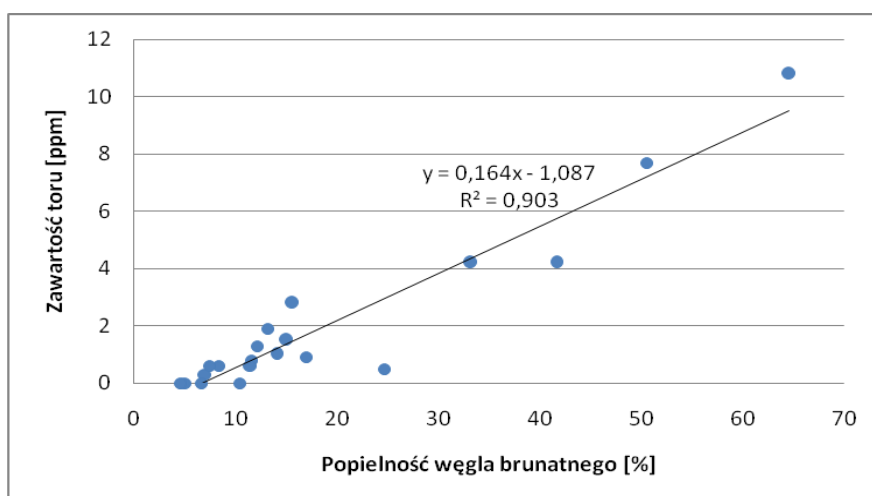
Korelację liniową Pearsona zawartości arsenu w węglu brunatnym ze złoża „Gubin” z popielnością węgla przedstawiono na rysunku 2. Współczynnik korelacji w badanych próbkach wynosi 0,65, a współczynnik determinacji (R^2)0,43.



Rys. 2. Korelacja popielności węgla brunatnego i zawartości arsenu w węglu brunatnym ze złoża Gubin

Fig. 2. Correlation between ash and arsenic content in brown coal from the Gubin deposit

Na rysunku 3 została przedstawiona korelacja liniowa między zawartością toru w węglu brunatnym ze złoża „Gubin” z popielnością tego węgla. Współczynnik korelacji wynosi w tym przypadku 0,95, a współczynnik determinacji (R^2) 0,9.



Rys. 3. Korelacja popielności węgla brunatnego i zawartości toru w węglu brunatnym ze złoża Gubin

Fig. 2. Correlation between ash and thorium content in brown coal from the Gubin deposit

Dyskusja wyników

Aktualnie nie ma jeszcze opracowanych norm określających dopuszczalną zawartość pierwiastków szkodliwych w węglu brunatnym. Można jedynie opierać się na porównywaniu oznaczonej zawartości ze stężeniami klarkowymi w węglach na świecie, dopuszczalnymi dziennymi dawkami dla ludzi [Kabata-Pendias, Pendias 1999] i dopuszczalnej zawartości tych pierwiastków w glebach [Rozporządzenie ...,2002] oraz w wodach [Rozporządzenie...1991]. Dopuszczalną aktywność promieniotwórczą gamma uranu i toru w węglu brunatnym określono jedynie w Instrukcji MGİE z 1982 roku.

Ołów (Pb) jest metalem toksycznym, który trudno wydalą się z organizmu człowieka. Średnia jego zawartość klarkowa w węglach to 20-50 ppm, a dopuszczalne stężenie w glebach to 100 ppm. Sole i tlenki tego pierwiastka są trucizną kumulującą się w organizmie, a choroba wywołana toksycznym działaniem tego pierwiastka to ołowica. Badany węgiel ze złoża „Gubin” charakteryzuje się niską zawartością ołowiu, poniżej dopuszczalnych norm.

Stężenie kadmu (Cd) w analizowanych próbkach jest wyższe od przeciętnego obserwowanego w węglu na poziomie 0,05-0,2 ppm i wynosi do 0,47 ppm. Kadm jest pierwiastkiem silnie toksycznym kumulującym się w organizmie człowieka. Zawartość kadmu w badanym złożu jest niższa od dopuszczalnego stężenia w glebach na poziomie (1,5ppm).

Rtęć (Hg) jest silnie toksyczna i stanowi częste zanieczyszczenie środowiska. Analizowany węgiel wyróżnia się zawartością tego pierwiastka poniżej 1 ppm we wszystkich analizowanych próbkach, co jest wartością spełniającą obowiązujące normy.

Pomimo że arsen (As) jest jednym z mikroelementów, to jego nadmiar powoduje niezwykle silne zatrucia. Wszystkie związki arsenu są rakotwórcze. Stężenie tego pierwiastka w badanym węglu wynosi od 0,5 do 29,7 ppm, co oznacza, że w niektórych próbkach węgla pochodzących z II grupy pokładów jest przekroczona dopuszczalna norma dla gleb, wyznaczona na poziomie 20 ppm. W celu określenia przyczyny tego faktu zbadano związek zawartości arsenu w węglu z jego popielnością (rys. 2). Obliczony współczynnik korelacji liniowej równy 0,65 wskazuje, że jest to korelacja umiarkowana, a zależność jest istotna [Guilford 1965], co może wskazywać, że podwyższone zawartości są związane z dużą popielnością badanych próbek.

Cynk (Zn) i selen (Se) należą do mikropierwiastków niezbędnych do prawidłowego funkcjonowania organizmu ludzkiego, ale są niebezpieczne w większych akumulacjach. Stężenia tych pierwiastków są zbliżone do wartości klarkowej dla węgla, i wynoszą znacznie poniżej dopuszczalnych norm.

Tor (Th) to najpowszechniejszy w przyrodzie pierwiastek promieniotwórczy. Tor występuje w skorupie ziemskiej w ilości 12 ppm, czyli około sześciokrotnie częściej niż uran. Jego klark w węglu to około 2 ppm. Jest on silnie

sorbowany z wody, a jego wyższe koncentracje w węglu związane są z podłożem pochodzenia magmowego. Zawartość toru w badanym węglu jest silnie uzależniona od zawartości popiołu (rys. 3). Współczynnik korelacji wynoszący 0,95 wskazuje, że jest ona bardzo silna [Guilford 1965]. W próbkach o dużej popielności stężenie toru osiąga nawet 10,8 ppm. Taka wartość jest większa od wartości klarkowej w węglu, ale mniejsza od średniej zawartości w skorupie ziemskiej.

Uran (U), podobnie jak tor, jest pierwiastkiem promieniotwórczym łatwo sorbowanym przez węgiel. Średnie stężenie tego pierwiastka w węglu wynosi 1-1,6 ppm. Jego podwyższona zawartość w niektórych z badanych próbek jest związana w dużej mierze z popielnością i wynosi do 6,3 ppm.

Węgiel ze złoża „Gubin” podobnie jak inne węgle brunatne zlokalizowane w rejonie Łuzyc nie wykazuje niebezpiecznych koncentracji pierwiastków szkodliwych [Wagner 1995, 2001]. Badany węgiel charakteryzuje się natomiast niższą zawartością pierwiastków promieniotwórczych niż węgiel brunatny ze złóż „Turów” oraz „Bełchatów” [Kwiecińska, Wagner 1997].

Wnioski

W węglu brunatnym ze złoża „Gubin” występują liczne pierwiastki rzadkie, śladowe i rozproszone, z których część może wywierać niekorzystny wpływ na środowisko naturalne oraz człowieka. Jednak pierwiastki te nie osiągają koncentracji szkodliwych w analizowanym węglu.

Zawartość Hg, Pb i Cd w badanym węglu jest nieduża, a ich stężenia osiąga ją maksymalnie: Hg do 0,114 ppm, Pb do 38,6 ppm i Cd do 0,47 ppm. Podane koncentracje są bardzo małe w porównaniu do granicznych dopuszczalnych wartości w glebach.

Zawartość innych oznaczonych pierwiastków śladowych (Co, Zn i As) w kopalinie jest również nieduża i nie stanowi zagrożenia dla środowiska naturalnego. Zwraca uwagę nieco wyższa zawartość arsenu w II grupie pokładów, która jest uzależniona od zawartości popiołu w węglu.

Badany węgiel będzie całkowicie bezpieczny w czasie eksploatacji i składowania pod względem radiologicznym, ponieważ zawiera małą koncentrację pierwiastków wydzielających promieniowanie gamma, a podwyższona zawartość jest związana z dużym zapozieleniem węgla.

*Praca naukowa finansowana ze środków na naukę w latach 2009-2011
jako projekt badawczy nr N N525 462236*

Literatura

1. Dodatek nr 1 do kompleksowej dokumentacji geologicznej złoża węgla brunatnego "Gubin" w kat.B+C1+C2 w miejsc. Sadzarzewice, Strzegów, Mielno, Brzozów, Węgliny Sieńk, Koło, Datyń, Jasienica, Grodziszcz, KWB „Konin”, 2009
2. GUILFORD J. P: *Fundamental Statistics in Psychology and Education*. New York: McGraw-Hill, 1965
3. KABATA-PENDIAS A., PENDIAS H.: *Biogeochemia pierwiastków śladowych*. PWN Wydawnictwo Naukowe, 1999
4. KASIŃSKI J., MAZUREK S., PIWOCKI M.: *Waloryzacja i ranking złóż węgla brunatnego w Polsce*. Prace Państwowego Instytutu Geologicznego, t. 187, 2006
5. KONDRACKI J.: *Geografia regionalna Polski*. Warszawa: PWN, 2002
6. KWIECIŃSKA B., WAGNER M.: *Typizacja cech jakościowych węgla brunatnego z krajowych złóż według kryteriów petrograficznych i chemiczno-technologicznych do celów dokumentacji geologicznej złóż oraz obsługi kopalń*. Wyd. Centrum PPGSMiE PAN, Kraków 1997.
7. NEY R.: *Ocena zasobów, wydobycia i zużycia węgla kamiennego i brunatnego w UE i w Polsce*. Przyszłość węgla w gospodarce świata i Polski, Katowice, 2004
8. *Prognoza zapotrzebowania na paliwa i energie do 2030 roku*, Ministerstwo Gospodarki Warszawa, 2009
9. *Program działań wykonawczych na lata 200 –2012*, Ministerstwo Gospodarki, Warszawa, 2009
10. ROZPORZADZENIE MINISTRA ROLNICTWA I ROZWOJU WSI z dnia 21 marca 2002 r. w sprawie dopuszczalnych stężeń metali ciężkich zanieczyszczających glebę. Dz.U. Nr 37, poz.344
11. ROZPORZADZENIE MINISTRA Ochrony Środowiska, Zasobów Naturalnych i Leśnictwa z dnia 5 listopada 1991 r. w sprawie klasyfikacji wód oraz warunków, jakim powinny odpowiadać ścieki wprowadzane do wód lub do ziemi.
12. TUREK M.: *Węgiel a pozostałe nośniki energii w polityce energetycznej Polski*, Polityka Energetyczna t.8, z 1, 2005
13. WAGNER M.: *Węgiel brunatny*. [W]: Strykowski M.: *Eksploracja selektywna węgla brunatnego i kopalni towarzyszących wraz z uwarunkowaniami techniczno-ekonomicznymi i korzyściami ekologicznymi*. Wyd.: Centrum Instytutu Gospodarki Surowcami Mineralnymi i Energią PAN w Krakowie 1995
14. WAGNER M.: *Oznaczanie pierwiastków toksycznych i szkodliwych w węglu i jego popiołach*. [W]: Strykowski M.: *Eksploracja selektywna węgla brunatnego jako metoda ograniczenia szkodliwego oddziaływania na środowi-*

sko pierwiastków obecnych w węglu i produktach jego spalania. Wyd.: *Katedra Górnictwa Odkrywkowego AGH*, Kraków. 2001

SELECTED TOXIC ELEMENTS IN LIGNITE FROM THE "GUBIN" LIGNITE DEPOSIT

S u m m a r y

"Gubin" lignite deposit is located in Western Poland, in Lubuskie voivodeship, on the Polish-German border. The study includes analyses results of 20 samples from the Miocene "Gubin" brown coal deposit, taken from 8 boreholes. INAA method has been used to analyze the content of harmful elements, including: As, Zn, Se, Hg, Th, U, while ASA method has been used for Cd and Pb. Studies have shown that the lignite does not contain elevated concentrations of these elements, apart from As, Th and U in some samples, but they are strictly associated with large ash content within this coal.

Key words: „Gubin” lignite deposit, heavy metals, radioactive elements, harmful elements

LESZEK JURDZIAK, JUSTYNA WOŹNIAK*

ZMIENNOŚĆ PRZEPŁYWÓW PIENIĘŻNYCH JAKO MIARA RYZYKA PRODUKCJI ENERGII Z WĘGLA BRUNATNEGO

Streszczenie

Artykuł składa się z czterech części obejmujących tj. wprowadzenie, opis metodyki badań, analizę rezultatów i wnioski. Głównym przesłaniem jest konieczność optymalizacji wspólnych działań kopalni węgla brunatnego i elektrowni oraz opracowanie metodyki szacowania korzyści z integracji pionowej tych podmiotów w warunkach niepewności i ryzyka w zintegrowanym środowisku programowym.

Słowa kluczowe: złoża węgla brunatny, produkcja energii elektrycznej, ryzyko

Wstęp

Zmiany na rynku energii energetycznej związane z koniecznością wykupu pozwoleń na emisję CO₂ (wprowadzenie systemu handlu ETS) oraz skutki globalnego kryzysu finansowego powodują, że produkcja energii elektrycznej staje się coraz bardziej ryzykownym przedsięwzięciem. W atmosferze coraz radykalniejszych żądań grup tzw. „zielonych” możliwe staje się wprowadzenie zakazu budowy nowych elektrowni węglowych bez instalacji wychwytywania i składowania CO₂ (CCS). Utrudnia to znalezienie funduszy na budowę nowych kopalń węgla brunatnego i elektrowni. Ma to szczególnie znaczenie dla Polski z energetyką opartą na węglu kamiennym (60%) i brunatnym (35%). W efekcie węgiel brunatny - najtańsze źródło produkcji energii elektrycznej – musi rywalizować z innymi alternatywnymi i dużo droższymi źródłami. Produkcja energii z węgla brunatnego nigdy nie była dotowana i przynosiła zyski. KWB Bełchatów realizuje np. udostępnienie nowego pola „Szczerców” z własnych środków, a podobnie jak elektrownia buduje nowy blok. Niezbędne kredyty zabezpieczone są przez przyszłe przepływy pieniężne. Po roku 2020 sytuacja w Polsce będzie jeszcze trudniejsza, bo cały limit uprawnień do emisji CO₂ będzie musiał być kupowany na aukcjach. Rozsądnym działaniem jest, więc opracowanie metodyki szacowania zmienności przyszłych przepływów pienięż-

* Wydział Geoinżynierii, Górnictwa i Geologii, Politechnika Wrocławska

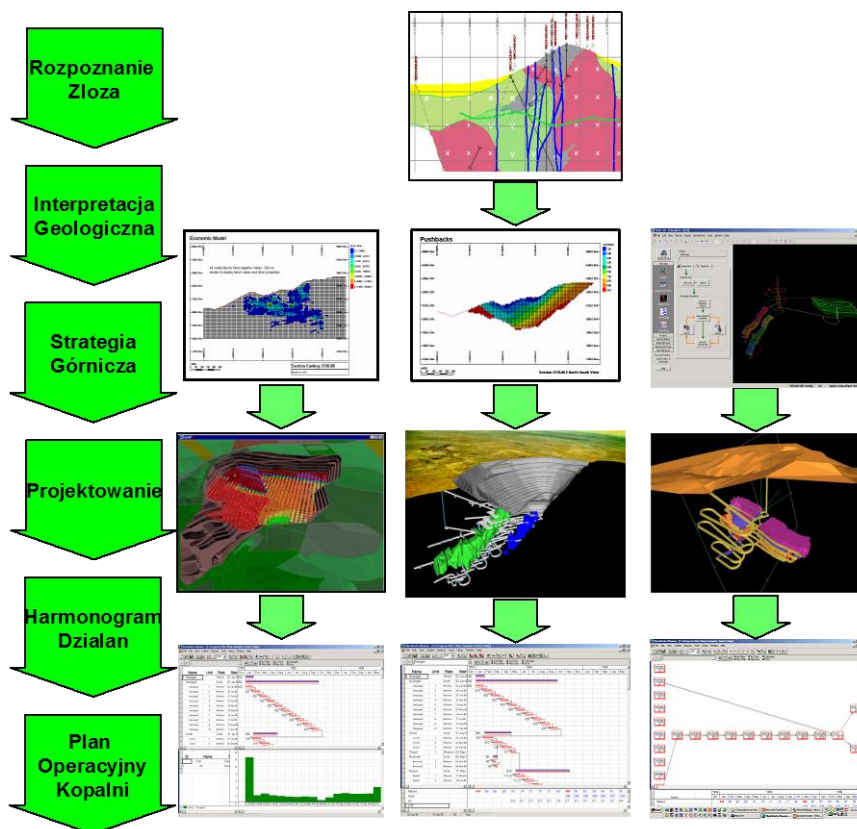
nych ze sprzedaży energii elektrycznej wytworzonej z węgla pochodzącego z nowych złóż z uwzględnieniem niepewności i ryzyka by móc ocenić opłacalność inwestycji i prawdopodobieństwo jej powodzenia. Polska posiada kilka miliardów ton węgla brunatnego w rozpoznanych złożach (np. w okolicy Legnica i Gubina), których udostępnienie i eksploatacja na potrzeby nowych elektrowni może zagwarantować bezpieczeństwo energetyczne kraju na kolejne stulecie [Jurdziak, Wiktorowicz 2009]. Bez nowych inwestycji obecnie eksploatowane złoża wyczerpią się ok. 2040 r. i wówczas Polska może stracić obecną niezależność w zakresie produkcji energii elektrycznej.

Metoda badań

W pracy pokazano, że dla maksymalizacji zysku z produkcji energii elektrycznej konieczna jest optymalizacja wspólnych działań kopalni węgla brunatnego i elektrowni [Jurdziak 2007]. Nowa kopalnia i elektrownia powinny działać jak zintegrowany pionowo koncern energetyczny, gdyż poza maksymalizacją łącznych działań może przynieść dodatkowe korzyści, które mogą zwiększyć prawdopodobieństwo powodzenia całego przedsięwzięcia [Jurdziak 2005]. Analiza przyszłej inwestycji powinna rozpocząć się od klasyfikacji zasobów na podstawie danych ilościowych i jakościowych z rozpoznania złoża. Już na tym etapie powinny być wzięte pod uwagę wspólne cele przedsięwzięcia [Jurdziak i Kawalec 2008]. Cena węgla brunatnego nie ma wpływu na łączne zyski [Jurdziak 2007] jednak można wskazać optymalne zasoby i ich lokalizację w przestrzeni 3D dzięki zastosowaniu metod optymalizacji kopalń odkrywkowych. Formuła cenowa powinna jednak pokazywać wartość węgla o konkretnych parametrach jakościowych dla elektrowni.

Na każdym etapie łańcucha tworzenia wartości przy produkcji energetycznej z węgla brunatnego pojawia się kilka niepewnych parametrów, które mogą powodować zmienność przyszłych przepływów gotówki, zwiększając ryzyko nie osiągnięcia wymaganego poziomu rentowności. Poniższy schemat (rys. 1) przedstawia etapy górniczego opracowania nowego przedsięwzięcia, w których pojawiają się obszary niepewności i ryzyka.

W celu identyfikacji i określenia zakresu niepewności obecnie na świecie stosuje się symulację warunkową (Conditional Simulation - CS). Symulacja warunkowa to technika wykorzystywana do oceny ryzyka za pomocą symulacji Monte Carlo (MC) parametrów jakościowych w przestrzeni. Jest ona narzędziem pozwalającym na minimalizację ryzyka projektów górniczych dzięki połączeniu metod geostatystycznych i optymalizacji w module Geo Risk Assessment w programie NPV Scheduler.



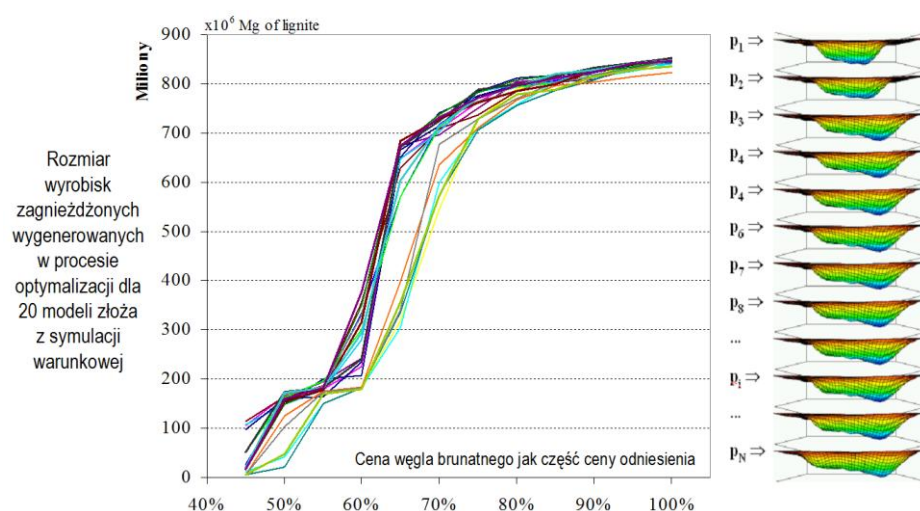
Rys. 1. Etapy łańcucha tworzenia wartości od rozpoznania złoża do opracowania planu eksploatacji - jako obszary ryzyka i niepewności (na podstawie materiałów firmy Datamine)

Fig. 1. The stages of the value chain, from deposit diagnosis to develop a plan of exploitation - as areas of risk and uncertainty (based on Datamine company materials)

Wynikiem symulacji są jednakowo prawdopodobne wersje modelu złoża zachowujące jego granice i wartości parametrów w miejscu pobrania prób oraz postać histogramów parametrów jakościowych i semiwariogramów.

Wiązka długoterminowych planów rozwoju kopalni sporządzona na bazie wyników symulacji warunkowej w module Geo-Risk Assessment (GRA) pozwala oszacować zmienność przepływów finansowych (Cash Flows - CFs) w projektach górniczych. Informacja o zmienności parametrów złożowych uzyskanych z symulacji warunkowej może być użyta do oceny ryzyka geologicznego i jego minimalizacji. CS, symulacja MC i długoterminowe plany rozwoju kopalni są obiektywnymi narzędziami do oceny zmienności przepływów pieniężnych. Zintegrowana metoda oceny ryzyka została opisana w pracy [Jurdziak i Wiktorowicz 2008].

Omówione podejście zaprezentowano na przykładzie danych ze złoża Legnica oraz nowej kopalni i elektrowni zaproponowanych w projekcie unijnym Foresight nr WKP_1/1.4.5/2/2006/4/7/585/2006 „Scenariusze rozwoju technologicznego przemysłu wydobywania i przetwórstwa węgla brunatnego” <http://www.igo.wroc.pl/foresight/foresight.html>. Na rysunku 2 przedstawiono wyniki optymalizacji Lerchsa-Grossmana dla 20 równie prawdopodobnych wersji fragmentu złoża Legnica uzyskanych w procesie symulacji warunkowej.



Rys. 2. Zmiany wielkości 12 wyrobisk docelowych (mierzone ilością węgla w mln Mg) wygenerowanych dla cen węgla z zakresu 45-100% przyjętej ceny bazowej - \$26/Mg, [Jurdziak i Wiktorowicz 2009]

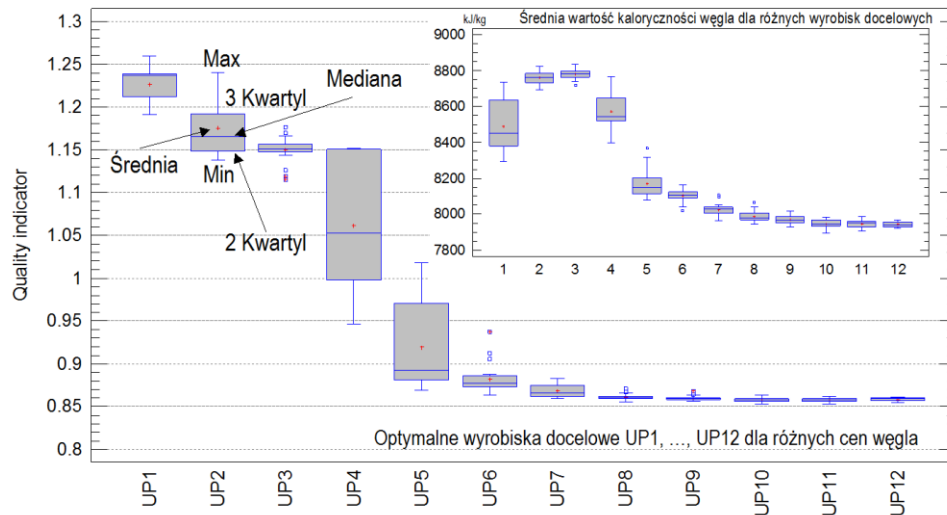
Fig. 2. Variation in 12 target excavations (measured by carbon in mln Mg) generated for the price of carbon adopted by 45-100% base price - \$ 26/Mg [Jurdziak & Wiktorowicz 2009]

Analiza rezultatów

W procesie symulacji warunkowej generowanym parametrem była wartość wskaźnika jakości węgla (Quality Indicator – QI). Zmiany jego uśrednionej wartości (wartość 4 kwartyli i średnia) dla 12 wyrobisk docelowych uzyskanych w procesie optymalizacji Lerchsa-Grossmanna pokazano na rysunku 3 (główny wykres). Wartość tego wskaźnika maleje i stabilizuje się dla większych wyrobisk docelowych. Na wykresie tym (wykres dodatkowy) przedstawiono również zmienność wartości opałowej węgla dla tych samych wyrobisk. Stanowiły one bazę do obliczeń całkowitej ilości energii elektrycznej wyprodukowanej ze

spalenia węgla z danego wyrobiska. W obliczeniach przyjęto sprawność elektrowni na poziomie 40%.

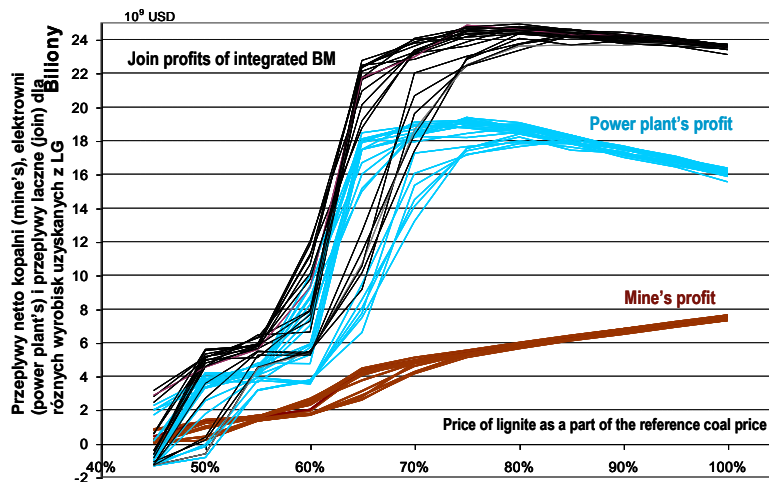
Symulacja warunkowa umożliwiła oszacowanie zmienności wartości niedyskontowanych przepływów finansowych netto (NCFs) kopalni, elektrowni i zintegrowanego pionowo koncernu przy eksploatacji różnych wyrobisk docelowych (rys. 4).



Rys. 3. Zmienność wskaźnika jakości węgla (*Quality Indicator - QI*) i uśrednione kaloryczności węgla dla 12 wygenerowanych zagnieżdżonych wyrobisk docelowych UP1 ... UP12 [Jurdziak i Kawalec 2009]

Fig. 3. Variability of coal quality index (*Quality Indicator - QI*) and averaged coal calorific for 12 generated nested target pits UP1 ... UP12 [Jurdziak & Kawalec 2009]

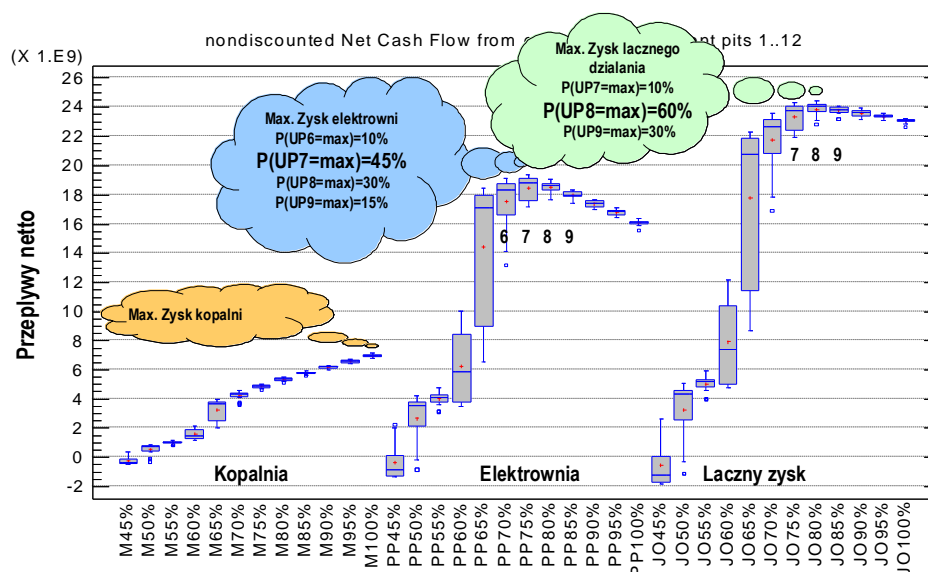
Obserwacja wyników prowadzi do wniosku, że maksymalizując łączne zyski pionowo zintegrowanego koncernu opłaca się eksploatować większe wyrobiska niż maksymalizując zyski elektrowni. Zmniejsza to ryzyko koncernu w stosunku do elektrowni oraz zapewnia dłuższe jego funkcjonowanie.



Rys. 4. Wyniki symulacji NCFs z eksploatacji węgla i produkcji energii elektrycznej dla różnych wyrobisk docelowych [na podstawie Jurdziak i Kawalec 2009]

Fig. 4. The NCFs simulation results of coal mining and electricity production for various target excavations [based on Jurdziak & Kawalec 2009]

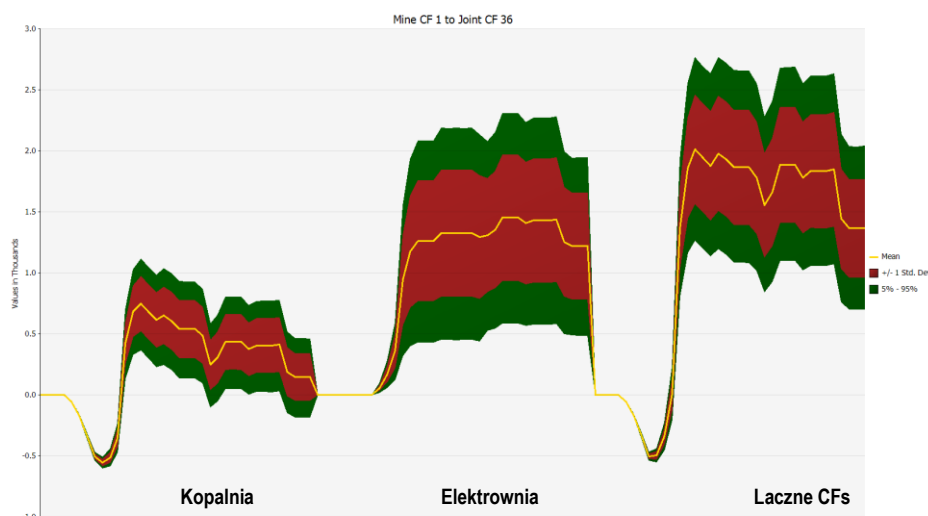
Kopalnia działająca jako oddzielny podmiot osiągnie znacznie niższe wyniki finansowe niż elektrownia. Prowadzi to do sprzeczności interesów kopalni i elektrowni oraz elektrowni i zintegrowanego pionowo koncernu. Wspólne dążenie bilateralnego monopolu do maksymalizacji łącznego zysku (jak w zintegrowanym pionowo koncernie) jest najbezpieczniejszym i najkorzystniejszym finansowo rozwiązaniem. Widać to również na kolejnym wykresie (rys. 5). Kopalnia maksymalizowałaby swoje zyski przy eksploatacji największego wyrobiska i najwyższej cenie węgla na poziomie 100% ceny odniesienia. Elektrownia z kolei największe prawdopodobieństwo osiągnięcia maksymalnego zysku na poziomie 45% uzyskalaby ze spalania węgla pochodzącego z 7 wyrobiska. W przypadku koncernu eksploatacja 8 wyrobiska z prawdopodobieństwem 60% zapewniłoby mu maksymalny zysk.



Rys. 5. Symulacja NCFs z eksploatacji węgla i produkcji energii elektr. dla kopalni, elektrowni i zintegrowanego koncernu [na podstawie Jurdziak i Kawalec 2009]

Fig. 5. NCFs simulation of coal mining and production of electrical energy for mines, power plants and integrated group [based on Jurdziak & Kawalec 2009]

Oceny projektów górniczych powinny być oparte na optymalnym harmonogramie wydobywania. W przypadku symulacji warunkowej mamy do czynienia z wieloma wariantami złoża, które są równie prawdopodobne. W module oceny ryzyka (Geo Risk assesment – GRA) programu NPVSchedulera istnieje możliwość przygotowania i analizy całej wiązki harmonogramów, z których każdy jest optymalny dla danego wariantu złoża. Dopiero takie podejście pozwala na prawidłowe szacowanie zmienności CFs w poszczególnych krokach postępu, w różnych okresach rozwoju projektów górniczych. Na podstawie wyznaczonych zmienności rocznych CFs można oszacować NPV projektu górniczego w oparciu o tradycyjne formuły, ale z losowymi parametrami np. niepewne poziomy kosztów i cen powinny być wyrażone nie pojedynczą wartością lecz rozkładem prawdopodobieństwa potencjalnych wartości. Na wykresie 6 zaprezentowaną zmienność rocznych CFs uzyskaną z symulacji Monte Carlo. Można zauważyć, że zmienność łącznych przepływów dla kopalni i elektrowni jest nieco mniejsza i odbywa się na znacznie wyższym, a tym samym bezpieczniejszym poziomie. Część ujemnych przepływów finansowych poniżej 0 dla kopalni i koncernu pokazują okres początkowy inwestycji (prowadzenia prac przygotowawczych i zdejmowania nadkładu), w którym nie są generowane żadne przychody lub są one mniejsze niż ponoszone koszty.



Rys. 6. Zmienność rocznych CFs dla kopalni, elektrowni i zintegrowanego koncernu [Jurdziak i Wiktorowicz 2009]

Fig. 6. The variability of the annual CFS for mine, power station and integrated group [Jurdziak & Wiktorowicz 2009]

Analiza ryzyka oparta na przepływach pieniężnych wskazuje, że stopa dyskontowa dopasowana do ryzyka (Risk adjusted discount Rate – RADR) w szacowaniu wartości NPV projektu powinna być dobierana zgodnie z ryzykiem przedsięwzięcia. Zmienność CFs jest dobrą miarą ryzyka projektu. Badania prowadzone w tym kierunku po raz kolejny potwierdzają fakt, że ryzyko jest znacznie niższe, gdy przedsięwzięcie rozpatrywane jest jako łączne działanie zintegrowanej pionowo firmy, aniżeli oddzielnie dla kopalni i elektrowni. Wyniki z symulacji warunkowej (CS) przeprowadzonej w programach Datamine Studio 3 i NPVScheduler wspólnie z innymi parametrami złoża węgla brunatnego Legnica zostały wykorzystane jako dane wejściowe do analizy ryzyka przeprowadzonej w nakładkach Excela Crystal Ball i @Risk. Pozwoliło to na oszacowanie zmienności przyszłych przepływów pieniężnych (CFs) rok po roku z eksploatacji węgla, produkcji energii elektrycznej i jej sprzedaży na zliberalizowanym rynku energetycznym. Przeprowadzono kilka tysięcy symulacji pokazując zmienność przepływów gotówki (CFs) w każdym roku z optymalnego długoterminowego harmonogramu kopalni, co pozwoli na właściwy wybór stopa dyskontowa (RADR) dostosowanej do ryzyka. Uzyskane rezultaty pokazały, że niepewność związana z cenami CO₂ jak również z ich przyznawanymi limitami będzie miała istotny wpływ na zwiększenie ryzyka opłacalności produkcji energii z węgla brunatnego i zmniejszenie wielkości optymalnego wyrobiska, co zmniejszy stopień wykorzystanie złóż węgla brunatnego. Tematyka ta będzie przedmiotem odrębnych analiz.

Podsumowanie

Analiza ryzyka opłacalności produkcji energetycznej z węgla brunatnego powinna wykorzystywać uzyskane rozwiązania dla monopolu dwustronnego kopalni węgla brunatnego i elektrowni [Jurdziak 2004, 2007] oraz obserwacji zmienności przyszłych CFs. Szacowanie zmienności CFs może być wykonane w odpowiednim zintegrowanym środowisku programowym. Wykorzystanie modułu ConSim w Datamine Studio v.3 oraz GeoRisk Assessment w programie NPVScheduler wraz z zastosowaniem metod optymalizacji kopalń odkrywkowych wydają się być doskonałym środowiskiem programowym do tego typu analiz. Wspólne jego wykorzystanie z narzędziami do symulacji Monte Carlo powinno pozwolić na wygenerowanie wielu optymalnych scenariuszy rozwoju kopalni i wybór najlepszego wariantu na bazie analiz probabilistycznych uwzględniających wszystkie istotne źródła niepewności na każdym etapie tworzenia wartości przy produkcji energii elektrycznej ze spalania węgla brunatnego. Tylko pokazanie potencjalnego ryzyka projektu, zwiększające się wraz z rosnącą zmiennością przepływów finansowych (CFs) w poszczególnych latach pozwala na zintegrowaną ocenę ryzyka [McNeil 2005]. Optymalizacja wspólnych działań kopalni i elektrowni w długoterminowym rozwoju wydobywania węgla brunatnego, pozwala na znaczące obniżenie ryzyka. Wzrost cen pozwoli na emisję dwutlenku węgla i spadek ich limitów zapewne zmniejszy opłacalność produkcji energetycznej z węgla brunatnego i zwiększy ryzyko, dlatego tym bardziej istotne staje się skorzystanie z omówionej metodyki pozwalającej na optymalizację działania.

Wszystkie wspomniane programy i moduły są dostępne w Instytucie Górnictwa Politechniki Wrocławskiej do celów edukacyjnych i doradczych.

*Artykuł finansowany z projektu „GRANT-wsparcie prac badawczych poprzez stypendia naukowe dla doktorantów” [POKL.08.02.02-02-002/08] współfinansowany przez UE w ramach Europejskiego Funduszu Społecznego, Budżetu Państwa oraz Budżetu Województwa Dolnośląskiego.
Umowa nr GRANT/II/9/2009P DG-G/2370/09.*

Literatura

1. JURDZIAK L.: *Czy integracja pionowa kopalń odkrywkowych węgla z elektrowniami jest korzystna i dla kogo?* Biuletyn Urzędu Regulacji Energetyki nr 2 s. 24-33 2005
2. JURDZIAK L.: *Tandem: lignite opencast mine & power plant as a bilateral monopoly*, Mine Planning and Equipment Selection, A.A Balkema Publishers, Taylor & Francis Group 2004

3. JURDZIAK L.: *Analiza ekonomiczna funkcjonowania kopalni węgla brunatnego i elektrowni z wykorzystaniem modelu bilateralnego monopolu, metod optymalizacji kopalń i teorii gier*. Monografia. Oficyna Wydawnicza Politechniki Wrocławskiej 2007.
4. JURDZIAK L., KAWALEC W.: *Integrated risk evaluation in value creation chain of optimal electric energy production from lignite with the use of conditional simulation of a lignite deposit quality parameters*. Electronic Conference Proceedings of the IAMG Meeting 2009, Computational Methods for the Earth, Energy and Environmental Sciences, August 23-28, Stanford University, USA (prezentacja) 2009
5. JURDZIAK L., KAWALEC W.: *Method of identification of mineable lignite reserves in the bilateral monopoly of an open pit and a power plant*. Economic evaluation and risk analysis of mineral projects. Taylor and Francis, 85-94, 2008
6. JURDZIAK L., WIKTOROWICZ J.: *Conditional and Monte Carlo simulation - the tools for risk identification in mining projects*. Economic evaluation and risk analysis of mineral projects. Taylor and Francis 2008
7. JURDZIAK L., WIKTOROWICZ J.: *Estimation of cash flows volatility for risk analysis of a new lignite power plant*. 10th IAEE European Conference Energy, Policies and Technologies for Sustainable Economies, IAEE, Cleveland OH, 469-470, 2009
8. MCNEIL, A., FREY, R. & EMBRECHTS, P.: *Quantitative Risk Management: Concepts Techniques and Tools*, Princeton University Press, Princeton 2005

VOLATILITY OF CASH FLOWS AS A RISK MEASURE OF ELECTRIC ENERGY PRODUCTION OUT OF LIGNITE

Key words: lignite deposit, electric energy production, risk

S u m m a r y

The paper consists of four parts containing introduction, description of research methodology, analysis of results and conclusions. Main idea is the necessity of joint activity optimization of a lignite mine and a power station and working out the methodology of benefits of vertical integration estimation in conditions of uncertainty and risk in integrated software environment.

IRENEUSZ NOWOGOŃSKI*, KRZYSZTOF BANAŚ**

**WPLYW CZASOPRZESTRZENNEJ ZMIENNOŚCI OPADU
NA WIELKOŚĆ ODPLYWU ZE ZLEWNI MODELOWYCH**

S t r e s z c z e n i e

W artykule przedstawione zostały zagadnienia związane ze zjawiskiem opad-odpływ. W czasie kalibracji modelu symulacyjnego używane są standardowe parametry kalibracji. Jako dodatkowe czynniki wpływające na wyniki symulacji zostały wskazane: prędkość i kierunek przemieszczania się opadu w stosunku do zlewni. Obliczenia wykonano przy użyciu programu Epa SWMM 5.0. Wyniki przedstawiono w postaci graficznej dla zobrazowania zmienności odpływu ścieków.

Słowa kluczowe: kanalizacja deszczowa, modele symulacyjne

Wstęp

W dzisiejszej praktyce inżynierskiej niezbędne staje się wykorzystywanie nowoczesnych metod obliczeniowych, do czego obligują nas coraz częściej przepisy prawne. Standardem jest wykorzystywanie metod obliczeniowych uwzględniających zmienność opadu w czasie dla zlewni o znacznej powierzchni. Wykorzystanie oprogramowania umożliwiającego uwzględnienie wspomnianych zjawisk pozwala przybliżyć uzyskiwane wyniki symulacji do rzeczywistych zjawisk zachodzących w zlewni.

Zagadnienie wpływu zmienności odpływu przy uwzględnieniu czasoprzestrzennej zmienności opadu podejmowano w literaturze [Kowalska i in. 1998; Nowogoński 2008], głównie dla układów bardzo uproszczonych.

* Ireneusz Nowogoński - dr inż., Instytut Inżynierii Środowiska, Uniwersytet Zielonogórski

** Krzysztof Banaś - mgr inż., PBP Ekosystem Sp. z o.o., Zielona Góra

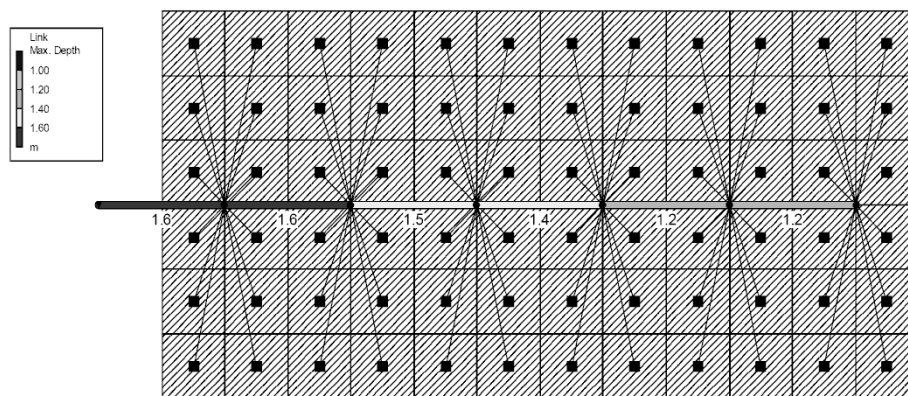
Zlewnia modelowa

Przyjęta została zlewnia o powierzchni 288 ha, z podziałem na 72 zlewnie cząstkowe o powierzchni 4 ha każda. Kształtem zlewni jest prostokąt o stosunkach boków 2:1 i wymiarach rzeczywistych: długość 2400 m, szerokość 1200 m.

Charakterystyka zlewni modelowej I

Zlewnia modelowa I jest najprostszym układem branych pod uwagę w niniejszej pracy. Przez dłuższą oś zlewni przebiega kolektor główny składający się z sześciu odcinków i siedmiu węzłów. Do każdego węzła za wyjątkiem odpływu (Outfall) przyłączonych jest 12 zlewni cząstkowych. Opad po opuszczeniu zlewni transportowany jest z bez opóźnienia do węzła obliczeniowego. Układ ten nie uwzględnia czasu przepływu przez kanały boczne i retencji kanałowej w nich. Zaletą układu jest jego prostota budowy.

Schemat zlewni wraz ze sposobem podłączenia zlewni cząstkowych i układu przewodów przedstawiono na rysunku 1.



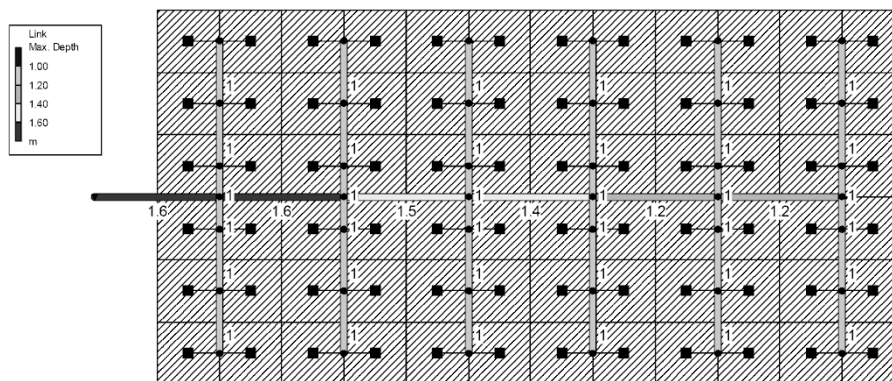
Rys. 1. Schemat zlewni modelowej I

Fig. 1. Theoretical catchment I

Charakterystyka zlewni modelowej II

Układ zlewni modelowej II jest rozwinięciem zlewni I. Tak samo przez dłuższą oś zlewni przebiega kolektor główny składający się z sześciu odcinków i siedmiu węzłów. Do każdego węzła za wyjątkiem odpływu (Outfall) przyłączone są dwa kanały boczne. Każdy kanał boczny podzielony jest na trzy odcinki. Do każdego węzła obliczeniowego kanału bocznego podłączone są dwie zlewnie jednostkowe. Taki system zapewnia uwzględnienie czasu dopływu ścieków łącznie z retencją kanałową w kanałach bocznych.

Schemat zlewni wraz ze sposobem podłączenia zlewni cząstkowych i układu przewodów przedstawiono na rysunku 2.



Rys. 2. Schemat zlewni modelowej II
Fig. 2. Theoretical catchment II

Charakterystyka zlewni modelowej III

Zlewnia III posiada budowę zbliżoną do zlewni II, jednak kolektor główny znajduje się asymetrycznie względem dłuższej osi zlewni. Do każdego węzła obliczeniowego kolektora podłączony jest tylko jeden boczny kanał zbierający opad z 12 zlewni cząstkowych. W układzie tym wydłużeniu ulega czas dopływu ze zlewni jednostkowych położonych najdalej od kolektora.

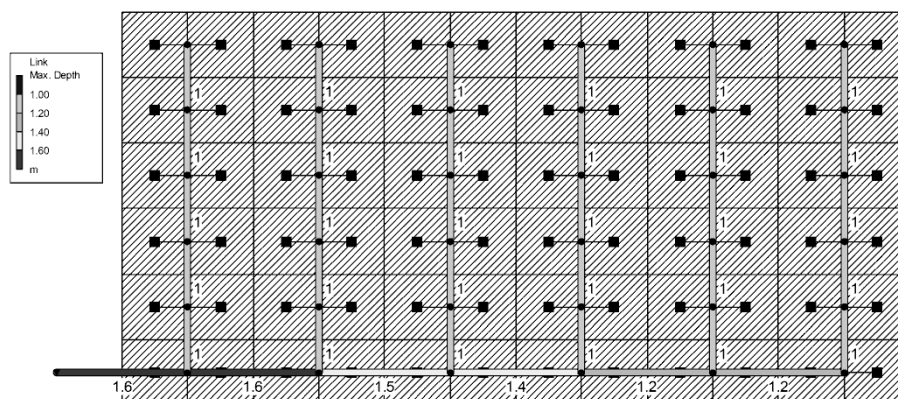
Schemat zlewni wraz ze sposobem podłączenia zlewni cząstkowych i układu przewodów przedstawiono na rysunku 3.

Układ przewodów zlewni

Przez zlewnie przebiega kolektor główny odprowadzający ścieki opadowe. Na kolektorze znajdują się studnie w węzłach obliczeniowych S1 ÷ S6. Umożliwiają one podłączenie zlewni cząstkowych lub kanałów bocznych.

Wszystkie odcinki kolektora głównego prowadzone są z jednakowym spadkiem 0,25% w zakresie średnic 1000 ÷ 1600 mm (tab. 1). Rozmiary przekrojów kolektora głównego zostały dobrane na podstawie przepływu wariantu opadu równomiernego dla zlewni I, tak aby nie wystąpiło napelnienie całkowite.

Rurociągi boczne w zlewniach II i III zaprojektowano jako kanały o średnicy 1000 mm i spadku 0,25%. Podobnie jak w kolektorze głównym nie występuje w nich przepływ pełnym przekrojem. Układ przewodów dla każdej zlewni przedstawiony jest na rysunkach 1÷3.



Rys. 3. Schemat zlewni modelowej III

Fig. 3. Theoretical catchment III

Tab. 1. Zestawienie parametrów poszczególnych odcinków kolektora głównego

Tab. 1. Main sewerage parameters

odcinek kolektora	średnica	długość odcinka	szorstkość, współczynnik do wzoru Manninga
—	mm	m	—
S6 – S5	1200	400	0,013
S5 – S4	1200	400	0,013
S4 – S3	1400	400	0,013
S3 – S2	1500	400	0,013
S2 – S1	1600	400	0,013
S1 – OUT	1600	400	0,013

Charakterystyka opadu modelowego

Podczas projektowania układów sieci kanalizacji, jednym z najważniejszych parametrów przyjmowanych do obliczeń jest natężenie deszczu miarodajnego. Projektowanie dużych zlewni (>200 ha) wymaga uwzględnienia zmiany natężenia deszczu w czasie jego trwania. W pracy uwzględniono takie rozwiązanie i założono charakterystykę opadu modelowego przedstawioną w tabeli 2 [Nowoński 2008].

Kierunki przemieszczania się „pola” opadu nad zlewnią

Dla zilustrowania wpływu zmiany kierunku przemieszczania się opadu w stosunku do zlewni na odpływ siecią kanałów, dla każdego wariantu prędkości i każdej zlewni przyjęto cztery lub pięć kierunków. Wszystkie z nich zaprezentowano na rysunku 4.

Tab 2. Dane opadu użytego w symulacji zjawiska opad – odpływ

Tab. 2. Parameters of rainfall used in rainfall-runoff model

Czas t	Natężenie opadu efektywnego	Natężenie opadu efektywnego
min	mm/h	dm ³ /s·ha
0 – 4	2	5,5
5 – 9	8	22,0
10 – 14	48	133,3
15 – 19	21	58,3
20 – 24	10	27,7
25 – 30	1	2,8

Strzałkami oznaczono schematycznie kierunki nadejścia opadu wraz z oznaczeniami używanymi domyślnie w dalszej części pracy. Ponadto występuje również opad równomierny nieoznaczony na rysunku przyjmowany jako wariant porównawczy.

RÓWN – opad ten występuje na wszystkich zlewniach cząstkowych jednocześnie zgodnie z charakterystyką opadu. Prędkość przejścia opadu nad zlewnią jest równa zero.

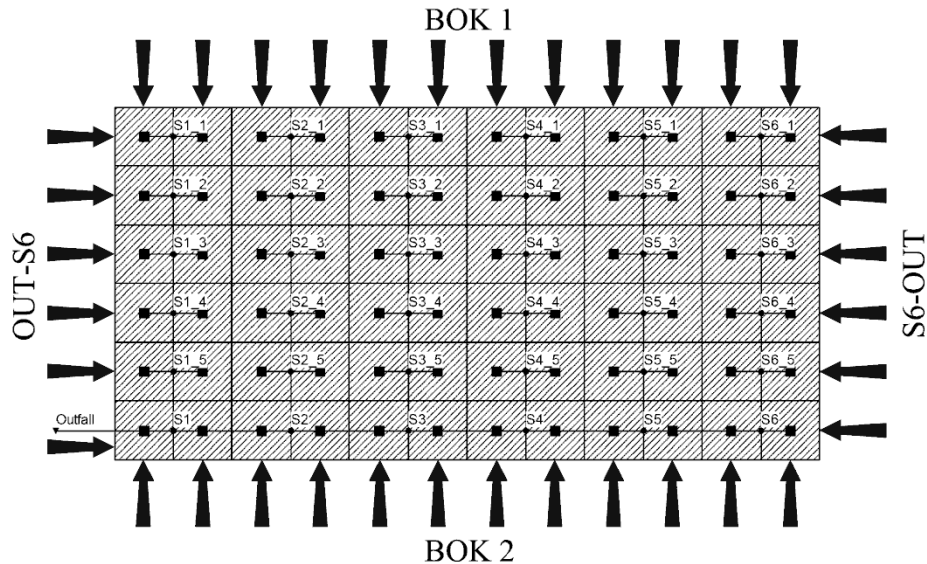
OUT – S6 – przejście opadu następuje od „lewej” strony zlewni na całej szerokości zajmując kolejno zlewnie cząstkowe opad przesuwa się od wylotu w kierunku węzła obliczeniowego S6. Wariant ten ma na celu ukazanie charakterystyki odpływu dla opadu przemieszczającego się przeciwnie do kierunku odpływu kolektorem głównym.

S6 – OUT – przejście opadu następuje od „prawej” strony zlewni na całej szerokości zajmując kolejno zlewnie cząstkowe opad przesuwa się od węzła obliczeniowego S6 w kierunku wylotu. Wariant ten ma na celu ukazanie charakterystyki odpływu dla opadu przemieszczającego się zgodnie z kierunkiem spływu w kolektorze głównym.

BOK 1 – przejście opadu następuje od „górnej” strony zlewni na całej szerokości zajmując kolejno zlewnie cząstkowe opad przesuwa się od końcowych węzłów kanałów bocznych w kierunku kolektora głównego

BOK 2 – przejście opadu następuje od „dolnej” strony zlewni na całej szerokości zajmując kolejno zlewnie cząstkowe opad przesuwa się od kolektora głównego w kierunku końcowych węzłów kanałów bocznych.

BOK – dla zlewni I i II uwzględniono tylko jeden wariant przejścia opadu przebiegającego prostopadłe do kolektora głównego z racji symetrycznego umieszczania go w zlewni. W przypadku rozważenia wariantów BOK 1 i BOK 2 otrzymane wyniki byłyby identyczne.

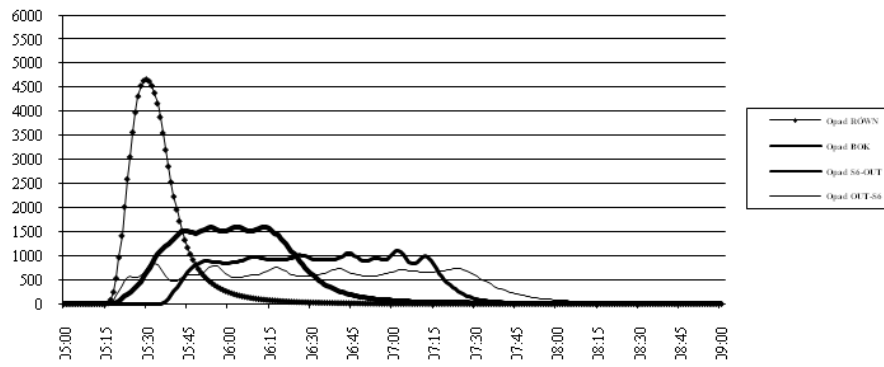


Rys. 4. Schemat przedstawiający kierunki przemieszczania się „pola” opadu nad zlewnią
Fig. 4. Directions of rainfall over catchment moving

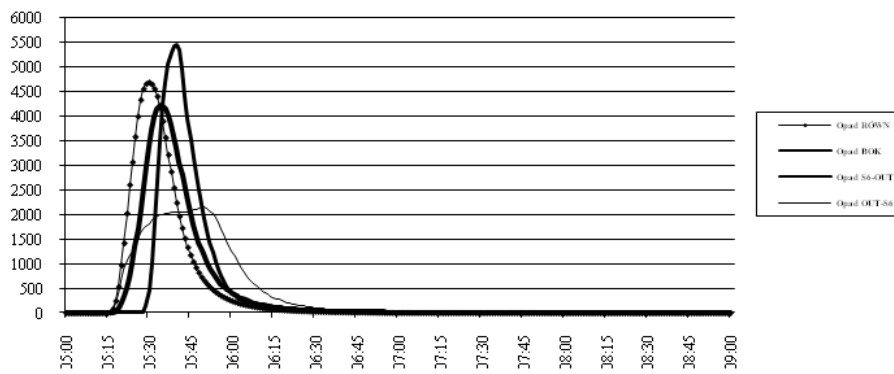
Dyskusja wyników

Dla wszystkich wariantów obliczeniowych za warunki porównawcze przyjęto odpływ z opadu równomiernego.

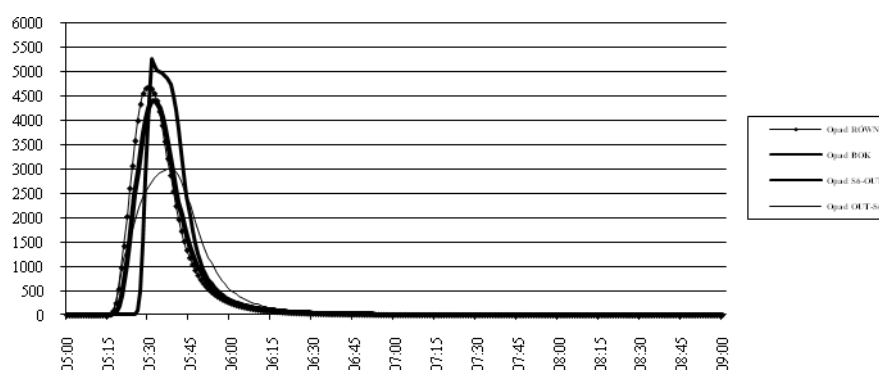
W przypadku najmniejszej prędkości przemieszczania się opadu nad zlewnią maksymalne odpływy ze zlewni były znacznie zmniejszone w stosunku do odpływu uzyskiwanego dla opadu równomiernego. Zakładane 20 m/min jest prędkością znacznie mniejszą od prędkości przepływu w kanałach kolektora, dlatego natężenie odpływu dąży do pewnego poziomu i po osiągnięciu go utrzymuje się na nim odchylając się nieznacznie. Powstałe odchyłki są wynikiem podziału na zbyt małą dla tych warunków ilość zlewni cząstkowych.



Rys. 5. Odpływ dla zlewni I przy prędkości przesuwu opadu nad zlewnią 20 m/min
 Fig. 5. Rainwater outflow from catchment I connected with rainfall moving velocity 20 m/min

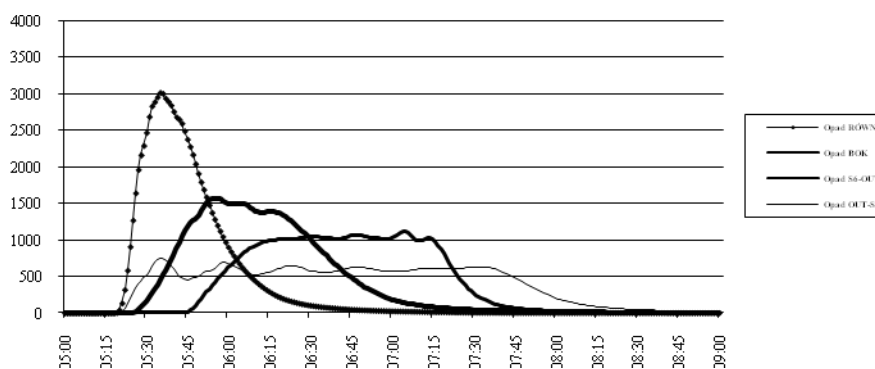


Rys. 6. Odpływ dla zlewni I przy prędkości przesuwu opadu nad zlewnią 100 m/min
 Fig. 6. Rainwater outflow from catchment I connected with rainfall moving velocity 100 m/min

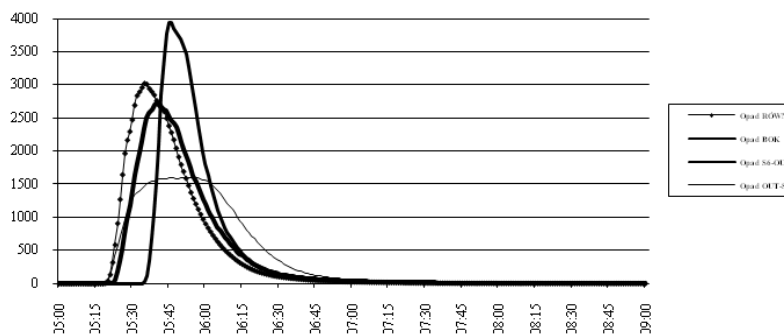


Rys. 7. Odpływ dla zlewni I przy prędkości przesuwu opadu nad zlewnią 200 m/min
 Fig. 7. Rainwater outflow from catchment I connected with rainfall moving velocity 200 m/min

W przypadku prędkości 100 m/min również uzyskano zmniejszenie natężenia na odpływie w stosunku do opadu równomiernego. Wyjątkiem jest jedynie kierunek S6 – OUT, gdzie nastąpiła kumulacja dopływu do węzłów obliczeniowych z odcinka poprzedzającego węzeł oraz ze spływu powierzchniowego.



Rys. 8. Odpływ dla zlewni II przy prędkości przesuwu opadu nad zlewnią 20 m/min
 Fig. 8. Rainwater outflow from catchment II connected with rainfall moving velocity 20 m/min

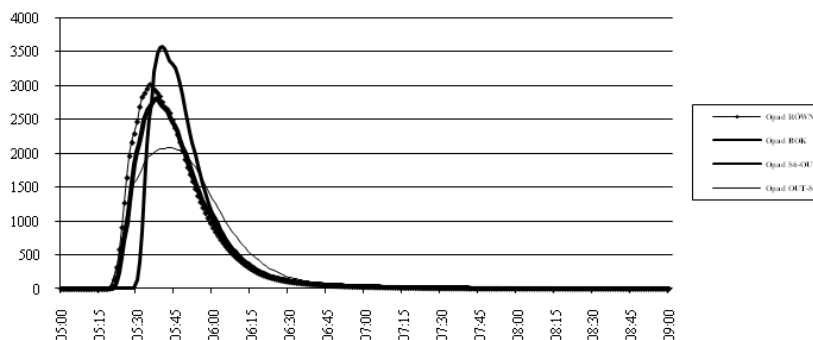


Rys.9. Odpływ dla zlewni II przy prędkości przesuwu opadu nad zlewnią 100 m/min

Fig. 9. Rainwater outflow from catchment II connected with rainfall moving velocity 100 m/min

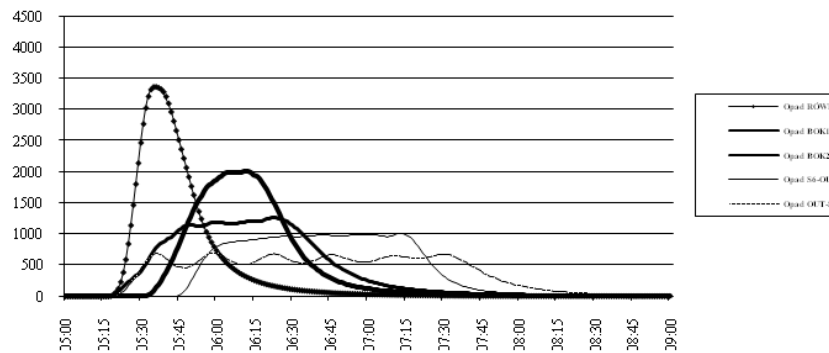
Spowodowane to było zbliżoną prędkością przemieszczania się opadu i prędkością przepływu w kolektorze głównym przy identycznym kierunku przepływu w kolektorze głównym i kierunkiem przemieszczania się opadu nad zlewnią. Skutkiem tego zjawiska było przekroczenie maksymalnych natężeń przepływu w porównaniu do wariantu odniesienia.

W przypadku prędkości przemieszczania się opadu nad zlewnią z prędkością 200 m/min, tak jak w poprzednim przypadku, zauważalne jest zwiększenie natężenia przepływu na wylocie zlewni dla kierunku S6 – OUT. W przypadku pozostałych kierunków przemieszczania się opadu względem zlewni zauważalny jest trend upodabniania się histogramu odpływu do wariantu porównawczego.



Rys. 10. Odpływ dla zlewni II przy prędkości przesuwu opadu nad zlewnią 200 m/min

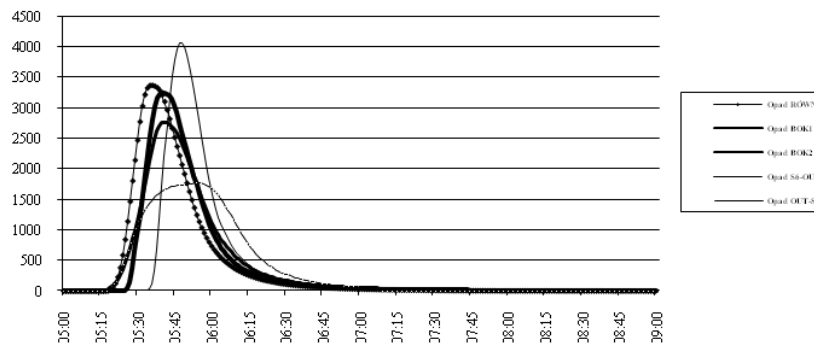
Fig. 10. Rainwater outflow from catchment II connected with rainfall moving velocity 200 m/min



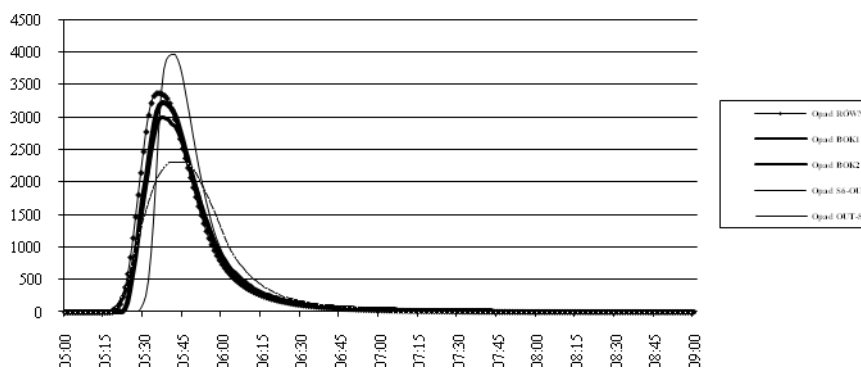
Rys. 11. Odpływ dla zlewni III przy prędkości przesuwu opadu nad zlewnią 20 m/min
 Fig. 11. Rainwater outflow from catchment III connected with rainfall moving velocity 20 m/min

Proporcjonalnie do wysokości maksymalnego natężenia odpływu uzyskano rozciągnięcie lub zwężenie histogramu odpływu w czasie.

Porównując zastosowane modele zlewni odpływ maksymalny powstający z opadu równomiernego zależał od schematu połączeń w sieci na danej zlewni. Największe odpływy wystąpiły dla zlewni I, w której odpływ ze zlewni częściowych przypisanych do danego węzła obliczeniowego, kierowany był bezpośrednio do niego. W przypadku zlewni II i III uzyskano mniejsze wartości natężenia na odpływie. Spowodowane to było przez uwzględnienie czasu przepływu w kanałach bocznych doprowadzających ścieki do kolektora głównego, równoznaczne z uwzględnieniem dodatkowej retencji kanałowej.



Rys. 12. Odpływ dla zlewni III przy prędkości przesuwu opadu nad zlewnią 100 m/min
 Fig. 12. Rainwater outflow from catchment III connected with rainfall moving velocity 100 m/min



Rys. 13. Odpływ dla zlewni III przy prędkości przesuwu opadu nad zlewnią 200 m/min
 Fig. 13. Rainwater outflow from catchment III connected with rainfall moving velocity 200 m/min

Czas rozpoczęcia odpływu jest zależny od kierunku nadejścia opadu. Największe opóźnienie względem czasu rozpoczęcia opadu równomiernego na zlewnię uzyskano dla wariantu S6 – OUT. Jest to skutkiem wystąpienia pierwszych odpływów ze zlewni cząstkowych w przeciwnym końcu zlewni w stosunku do odpływu z niej. W pozostałych wariantach kierunku przejścia deszczu, początek odpływu był zbliżony do wariantu odniesienia.

Wpływ zmiany prędkości przejścia opadu nie powodował znacznych zmian w czasie rozpoczęcia odpływu. Tylko dla przypadku S6 – OUT wzrost prędkości powodował nieznaczne przyspieszenie rozpoczęcia odpływu względem rozpoczęcia opadu.

We wszystkich przypadkach zlewni oraz prędkościach opadu najdłuższy odpływ wykazał kierunek przejścia opadu OUT – S6. Spowodowane było to przejściem opadu przeciwnieprądowo do przepływu w kolektorze głównym, a zatem koniec opadu wystąpił na początku kolektora.

Podczas wzrostu prędkości przejścia opadu czasy trwania odpływu znacznie malały i dążyły do czasu odpływu dla opadu równomiernego. Ze zwiększeniem prędkości opadu do 200 m/min uzyskano zwiększenie czasu trwania odpływu tylko dla kierunku S6 – OUT dla wszystkich zlewni i kierunku BOK1 dla zlewni III. Przyczyną była wyższa prędkość przejścia opadu nad zlewnią w stosunku do przepływu współprądowego w kanałach. Następstwem tego było zmniejszenie maksymalnego przepływu i tym samym wydłużenie czasu przepływu w kanałach.

Podsumowanie

W rezultacie przeprowadzonych symulacji wykazano zwiększenie natężenia na odpływie dla określonych warunków w stosunku do zakładanego największego odpływu dla opadu równomiernego. Wzrost ten może wynosić nawet 130% odpływu porównawczego. Wynika z tego, iż zastosowanie metod pozwalających na dynamiczną zmianę opadu w czasie jego trwania może umożliwić uniknięcie błędów powstających przy wykorzystaniu metod tradycyjnych. Sam fakt wykazania zmiany natężenia na odpływie w zależności od prędkości i kierunku przemieszczania się opadu zasługuje na ocenę przydatnego podczas projektowania kanalizacji deszczowej dla zlewni miejskich. Biorąc pod uwagę znajomość charakterystyki róży wiatrów oraz zlewni możemy przewidzieć najczęściej występujące opady nad daną zlewnią i tym samym określić miarodajne odpływy z niej.

Z drugiej strony brak uwzględniania analizowanego zjawiska może okazać się tragiczny w skutkach dla obszarów zagrożonych wylewami z kanalizacji deszczowej.

Również zaskakujący jest fakt, iż wśród ogólnych tendencji zmniejszania się czasu trwania odpływu wraz ze wzrostem prędkości przejścia opadu nad zlewnią, tak w wariancie OUT – S6 przy zwiększeniu prędkości ze 100 m/min na 200 m/min nastąpiło nieznaczne wydłużenie tego czasu. Zjawisko to nie ma szczególnego znaczenia w projektowaniu nowych lub modernizacji istniejących systemów kanalizacji, a jedynie ukazuje brak liniowości zjawiska opad – odpływ dla rozpatrywanych zlewni. Zaobserwowana własność zlewni może mieć jednak wpływ na warunki pracy zbiornika retencyjnego współpracującego z siecią.

W miarę komplikowania układu odpływowego wykazane różnice będą się zacierać. Rozwinięciem zlewni I były zlewnie II i III, które posiadały bardziej skomplikowany, dokładniej odtworzony układ połączeń. Różnice odpływów wykazane dla zlewni II i III były mniejsze aniżeli dla zlewni I, jednak pozostają na tyle duże, że zaobserwowanych zjawisk nie należy bagatelizować.

Literatura

1. KOWALSKA W., PRYSTAJ A., WIECZYSTY A.: Odpływ kolektorem deszczowym przy czasoprzestrzennej zmienności opadu, *Ochrona Środowiska* 2(69)/98, Wrocław 1998, s. 3-6
2. NOWOGOŃSKI I.: Zmienność opadu a kalibracja modelu symulacyjnego. *Wodociągi – kanalizacja*, nr 11/2008, 2008, s. 44-47
3. NOWOGOŃSKI I.: Odpływ ze zlewni deszczowej przy uwzględnieniu czasoprzestrzennej zmienności opadu. *Oczyszczanie ścieków i przeróbka*

- osadów ściekowych. Tom 2 Red. nauk. Z. Sadecka i in. Oficyna Wydaw. Uniwersytetu Zielonogórskiego, Zielona Góra 2008, s. 15-24
4. EN 752 – 4: Zewnętrzne systemy kanalizacyjne – Obliczenia hydrauliczne i oddziaływanie na środowisko 2001
 5. Rossman L.A.,: Storm Water Management Model. User's Manual. Version 5, Cincinnati, US EPA 2005

THE INFLUENCE OF RAINFALL TIME AND SPACE CHANGEABILITY ON RUNOFF FROM MODEL DRAINAGE AREAS

S u m m a r y

The problems connected with rainfall-runoff phenomena were presented. In calibration of simulation model user needs information about some standard calibration parameters. Additional parameters are: velocity and direction the rainfall is moving over the catchment. Computations were performed using Epa SWMM 5.0 program. Some of the result obtained were presented in graphical form to visualize how flow rate is changing.

RAFAŁ PAŹIK***BUDOWA, KOSZTY I EKSPLOATACJA DOMU PASYWNEGO***Streszczenie*

W niniejszej pracy opisano przyjęte rozwiązania techniczne w przykładowym domu pasywnym w woj. Lubuskim w m. Zawada, którego właścicielem jest autor pracy i porównano je do rozwiązań w alternatywnym domu tradycyjnym. Zwrócono także uwagę, jak ważna jest analiza opłacalności inwestycji rozpatrywanego domu pasywnego. Praca pokazuje również rzeczywiste zużycie energii w opisywanym domu pasywnym po pierwszym sezonie grzewczym.

Słowa kluczowe: dom pasywny, pompa ciepła, kolektor słoneczny, biopaliwo, bioetanol, energooszczędność, ekologia, budowa domu pasywnego, rozwiązania energooszczędne, mostki termiczne, energie odnawialne, rzeczywiste zużycie energii

Wstęp

Czy budownictwo energooszczędne, a nawet pasywne to tylko hasła, czy możliwe jest wybudowanie domu innego niż tradycyjny, zgodnego z aktualnymi przepisami budowlanymi [Rozporządzenie Min. Infr. z dnia 12 kwietnia 2002 r]? Mimo, że na temat budownictwa niskoenergetycznego i pasywnego powstało już wiele publikacji [Giovanardi i inni 2008, Chwieduk 1998, Chwieduk 1999, Feist 1998, Humm 1998, Jędrzejewska-Ścibak Sowa 1998, Wnuk 2007, Żurawski] oraz coraz częściej organizowane są konferencje związane wyłącznie z budownictwem pasywnym [The 1st Nordic passive house conference 2008, The 2nd Nordic passive house conference 2009], to pytanie zadaje sobie jeszcze niewielu inwestorów. W Polsce temat energooszczędności ciągle jeszcze jest mało popularny, choć budownictwo niskoenergetyczne na świecie to już rzeczywistość [Chwieduk 1999]. Mimo wielu zmian zachodzących w budownictwie, zdecydowana większość z nowo budowanych domów, to budynki, którym w rzeczywistości daleko jest do energooszczędnych. Świadczyć może o tym chociażby struktura zużycia energii w gospodarstwach domowych

* doktorant Wydziału Inżynierii Lądowej i Środowiska Uniwersytetu Zielonogórskiego

(rys. 1) [Wnuk 2006]. Jednak im więcej się mówi i pisze o rozwiązaniach energooszczędnych, tym większa rodzi się świadomość inwestorów na ten temat. Uwagę zwracają nie tylko możliwe korzyści finansowe, ale również te związane z ochroną środowiska.

Jednym z typów budynków energooszczędnych jest tzw. dom pasywny, który charakteryzuje się bardzo niskim zużyciem energii na potrzeby ogrzewania. Jednak aby osiągnąć standard domu pasywnego, należy zastosować wiele specyficznych rozwiązań, które mają istotny wpływ na wzrost kosztów budowy takiego domu. Z tego względu przed rozpoczęciem budowy, należy przeprowadzić dokładną analizę ekonomiczną, ponieważ może się okazać, że koszty budowy znacznie przewyższą zyski przewidywane w przyszłości, wynikające z małego zapotrzebowania na energię.

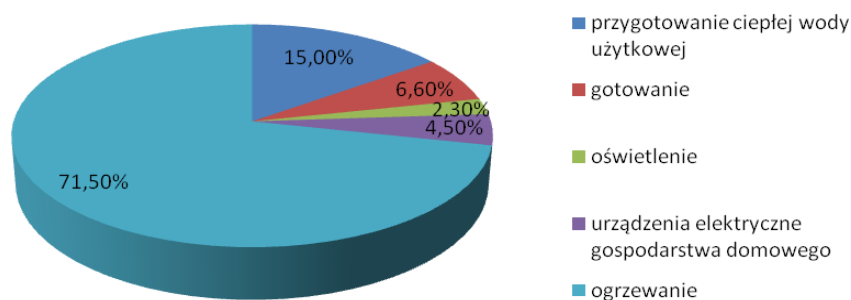
Takiej analizie zostały poddane zastosowane rozwiązania techniczne w rozpatrywanym domu pasywnym w stosunku do alternatywnych rozwiązań, które zostałyby przyjęte w domu tradycyjnym, oraz z w stosunku do obecnie stosowanych (również w domach pasywnych) urządzeń wykorzystujących źródła energii odnawialnych. Następnie wyniki analizy zostały zweryfikowane poprzez rzeczywiste zużycie energii po pierwszym sezonie grzewczym.

Ogólny zarys teoretyczny

Energooszczędność w dzisiejszych czasach stanowi ważny element związany z komfortem mieszkania, zarówno w sferze eksploatacyjnej jak i życiowej. Jest oczywistym, że wybór nośnika energii cieplnej dla naszego domu w dużej mierze decyduje o naszych przyszłych kosztach eksploatacyjnych, które można podzielić wg wspomnianego wyżej rys. 1 [Wnuk 2006]. Jak widać największy procent stanowi ogrzewanie. W związku z tym, biorąc pod uwagę ciągły wzrost cen nośników energii cieplnej, należy się zastanowić nad zastosowaniem rozwiązań umożliwiających obniżenie tych kosztów. Mogą to być rozwiązania architektoniczne takie jak: usytuowanie budynku, jego osłonięcie, jego bryła, zastosowane okna, izolacja oraz systemy dogrzewania pasywnego wykorzystujące promieniowanie słoneczne [Lisek i in. 1995], jak również rozwiązania konstrukcyjne umożliwiające zmniejszenie wpływu mostków termicznych na zużycie energii. Nie należy także zapominać o urządzeniach i rozwiązaniach instalacyjnych takich jak: magazynowanie energii ciepłej w gruncie [Chwieduk 1998], pompy ciepła, kolektory słoneczne, fotowoltaiki [Klugmann-Radziemska 2007, Planning and Installing Photovoltaic Systems 2005], biomasa, systemy wentylacyjne oparte o odzysk ciepła tzw. rekuperatory, w połączeniu z gruntowymi wymiennikami ciepła itp.

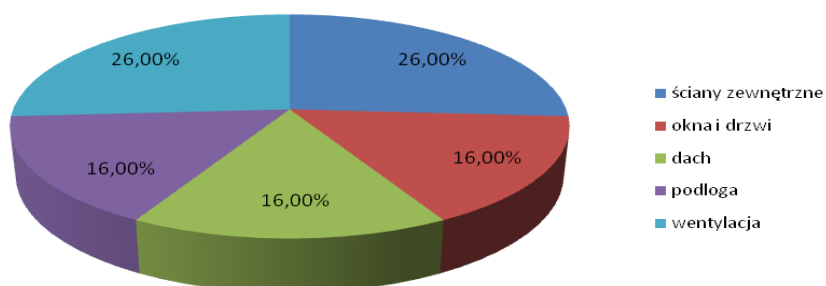
Każde rozwiązanie poszczególnych detali konstrukcyjnych, architektonicznych czy instalacyjnych niesie ze sobą pewną skuteczność, na podstawie której

można obliczyć procentowe zużycie energii cieplnej potrzebnej do pokrycia strat ciepłych przez wszystkie przegrody budynku oraz strat wentylacyjnych. Szacunkowy rozkład procentowy zużycia energii cieplnej na wymienione potrzeby, dla domu budowanego zgodnie z wymaganiami podanymi w Rozporządzeniu Ministra Infrastruktury z dnia 12 kwietnia 2002 r., pokazano na rys. 2.



Rys. 1. Struktura zużycia energii w gospodarstwach domowych w Polsce według kierunków użytkowania w roku 2002 (Agencja Rynku Energii)

Fig. 1. The structure of energy consumption in households in Poland, according to the directions for use in 2002 (Energy Market Agency)



Rys. 2. Przybliżony standardowy podział strat ciepła

Fig. 2. Approximate standard distribution of heat losses

Największe straty ciepła związane są z wentylacją grawitacyjną, co powinno skłaniać do wyszukiwania rozwiązań je ograniczających. Wprawdzie wielkość tych strat jest często w rzeczywistości dalece różna od podanych w powyższym rozkładzie, jednakże jest to związane z nieprawidłowym wentylowaniem budynków. Dowodem tych nieprawidłowości jest wykraplanie się pary wodnej na chłodniejszych elementach wewnątrz budynku. Powoduje to pewne zyski w kosztach eksploatacyjnych, jednocześnie jednak niesie za sobą duży dyskomfort mieszkania. Budynek z prawidłowo działającą wentylacją grawitacyjną powinien spełniać wymagania dotyczące maksymalnego wskaźnika sezonowego zapotrzebowania na ciepło do ogrzewania budynku – E_A wynoszącego maksymalnie ok. $120 \text{ kWh/m}^2 \cdot \text{rok}$, (wartość przybliżona wyznaczana w zależności od współczynnika kształtu budynku – A/V). Chcąc zmniejszyć straty wynikające z wentylacji, możemy zastosować wentylację mechaniczną z odzyskiem ciepła, dzięki czemu wspomniany wskaźnik można obniżyć do ok. $70 \text{ kWh/m}^2 \cdot \text{rok}$, co już może zaliczyć budynek do energooszczędnego. Dalsze zmniejszenie strat ciepła przez wszystkie przegrody zewnętrzne, może pozwolić nawet na obniżenie wspomnianego wyżej wskaźnika do odpowiedniego dla budynku pasywnego. Na koniec należy również zwrócić uwagę na coraz to częstszą potrzebę podwyższania komfortu w budynku poprzez stosowanie systemów chłodzenia, do których można zaliczyć np. gruntowe wymienniki ciepła. Przy odpowiednich rozwiązaniach ograniczenia wpływu promieni słonecznych na temperaturę wewnątrz budynku oraz prawidłowym ich doborze, mogłyby znakomicie sprawdzić się w tej roli.

Wytyczne dla domu pasywnego

Dom pasywny charakteryzuje się wskaźnikiem równym maksymalnie $E_A=15 \text{ kWh/m}^2 \cdot \text{rok}$ (potocznie nazywanego domem 1,5 litrowym, co oznacza przeliczenie na zużycie roczne na 1 m^2 – 1,5 litra oleju opałowego). Istotnym jest, że taki dom nie potrzebuje autonomicznego, aktywnego systemu ogrzewania, ponieważ uzyskuje on komfort termiczny poprzez wykorzystanie pasywnych źródeł ciepła tj. zysków bytowych z urządzeń elektrycznych, ciepła słonecznego dzięki optymalnemu dobraniu przeszklenia oraz ciepła odzyskanego z wentylacji.

Maksymalna wartość graniczna szczytowego zapotrzebowania na moc do ogrzewania domu pasywnego równa 10 W/m^2 oznacza, że niezależnie od klimatu do ogrzewania w zupełności można wykorzystać system wentylacyjny jako jedyny system grzewczy. Dzięki temu koszty inwestycyjne budowy domu pasywnego mogą znacznie zmaleć. Tak małe zapotrzebowanie szczytowe pozwala na zastosowanie również każdego innego systemu grzewczego, którego koszt inwestycyjny nie będzie znaczący. Należy w tym momencie wspomnieć, że

próba osiągnięcia zerowego zapotrzebowania na energię do celów grzewczych byłaby obecnie bardzo nieekonomiczna [Wnuk 2006].

Zgodnie z opracowaniem Wnuka [2006], dom pasywny powinien spełniać kryteria podane w tab. 1.

Tab. 1. Kryteria jakie powinien spełniać dom pasywny [Wnuk 2006]

Tab. 1. Criteria to be fulfilled by passive house [Wnuk 2006]

1	Zapotrzebowanie na energię końcową do ogrzewania w przeliczeniu na powierzchnię użytkową	$\leq 15 \text{ kWh/m}^2 \cdot \text{rok}$
2	Maksymalne zapotrzebowanie na moc do ogrzewania	$\leq 10 \text{ W/m}^2$
3	Współczynnik przenikania ciepła (strat ciepła) przez przegrody zewnętrzne (ściany, dach, płyta podłogowa)	$\leq 0,15 \text{ W/m}^2 \cdot \text{K}$
4	Współczynnik przenikania ciepła przez okna przy współczynniku przepuszczalności energii słonecznej	$\leq 0,8 \text{ W/m}^2 \cdot \text{K}$ $\geq 50 \dots 60 \%$
5	Szczelność budynku n_{50}	$\leq 0,6 \text{ l/h}$
6	Sprawność instalacji wentylacyjnej z odzyskiem ciepła z powietrza wywiewanego przy poborze energii elektrycznej	$\geq 75\%$ $< 0,45 \text{ Wh/m}^3$
7	Zużycie energii pierwotnej do zaspokojenia wszystkich potrzeb energetycznych domu w przeliczeniu na powierzchnię użytkową	$\leq 120 \text{ kWh/m}^2 \cdot \text{rok}$

Analiza przewidywanych kosztów inwestycyjnych i eksploatacyjnych rozwiązań grzewczych wykorzystujących energię odnawialną w stosunku do energii elektrycznej

Zgodnie z opracowaniem Lipińskiego [2009], budowa domu pasywnego jest droższa od domu standardowego o ok. 36%. Jest to spory jak widać wydatek, dlatego należy zastanowić się nad sensem realizacji takiego domu. W przypadku budowy takiego domu analiza kosztów inwestycyjnych nie koniecznie musi wykazać się zwrotem, co więcej może się okazać, że inwestycja taka w ogóle nie będzie opłacalna. Dużą część nakładów finansowych stanowią koszty rozwiązań systemowych. Należy jednak również pamiętać o nietypowości niektórych rozwiązań, co ma znaczący wpływ na wzrost tak zwanych kosztów robocizny. W związku z tym wykonanie takiego domu głównie przez firmy budowlane, mogłoby spowodować nieopłacalność inwestycji. Nie wspominając już o możliwym braku bardzo rygorystycznej dokładności w wykonaniu i związanych z tym negatywnych skutków eksploatacyjnych. Pamiętając o powyższym, przed rozpoczęciem budowy domu pasywnego należy dokładnie przeanalizować możliwe do realizacji rozwiązania i wybrać te, które spełnią nasze oczekiwania zarówno finansowe jak i techniczne.

- Koszty robocizny

Budowa domu przez wyspecjalizowane firmy, biorąc pod uwagę konieczny wysoki rygor prac, a tym samym większe koszty robocizny, byłyby, w przypadku budowy rozpatrywanego domu parterowego o powierzchni o regulowanej temperaturze 108,3 m² przedsięwzięciem nieopłacalnym. Byłaby także, biorąc pod uwagę często niestety niską jakość tych prac, przedsięwzięciem bardzo ryzykownym. W związku z tym zdecydowano się wybudować rozpatrywany dom pasywny własnymi siłami korzystając z pomocy jednej lub dwóch zaufanych osób. Dzięki temu zaoszczędzono ok. 60% kosztów robocizny w stosunku do budowy domu pasywnego z wykorzystaniem zewnętrznych ekip budowlanych. W stosunku do kosztów całego rozpatrywanego domu pasywnego wynoszącego ok. 270 000 zł. zaoszczędzono ok. 15%.

- Koszty inwestycyjne i potrzeba doprowadzenia energii cieplnej do budynku

Dla potrzeb takiego domu raczej mało opłacalnym jest doprowadzanie do niego jakichkolwiek innych źródeł energii niż energię elektryczną, która i tak zawsze musi być doprowadzona, a więc już na początku można w pewnym stopniu obniżyć koszty związane z doprowadzeniem dodatkowych źródeł energii (np. gazu).

- Koszty inwestycyjne i eksploatacyjne rozwiązań technicznych zaopatrujących budynek w energię do produkcji ciepła

Przewidywane koszty roczne w domu pasywnym za ogrzewanie, przy przyjętej cenie za 1 kWh wynoszącym np. 25 gr., wyniosłyby ok. 406 zł., przy bardzo niskim koszcie inwestycyjnym wynoszącym zaledwie 160 zł za biokominek i 3500 zł za dodatkowe źródło ciepła, którym byłyby np. kable grzejne elektryczne wraz z dodatkowym osprzętem. W oparciu o analizę zużycia ciepłej wody użytkowej (c.w.u.), w poprzednim miejscu zamieszkania (budynek wielorodzinny) równym 65 dm³/dobę, i zakładając zwiększenie jego o 50% w domu jednorodzinnym, koszty za podgrzewanie c.w.u w taryfie G12, wyniosłyby ok. 350 zł przy koszcie inwestycyjnym wynoszącym ok. 500 zł. Biorąc pod uwagę powyższe przeanalizowano możliwość zastosowania w obiekcie urządzeń wykorzystujących energię odnawialną, które przy ówczesnych (ale również obecnych) ich cenach zakupu, w przypadku budowy domu pasywnego, niekoniecznie mogłyby mieć uzasadnienie ekonomiczne. Ma to związek z tym, że taki dom sam w sobie charakteryzuje się bardzo niskimi kosztami eksploatacji, a różnica w tych kosztach przy zastosowaniu powyższych urządzeń mogłaby być zdecydowanie zbyt mało zadowalająca w stosunku do kosztów inwestycji. Dla rozpatrywanego w niniejszej pracy domu, mającego spełnić warunki pasywnego, wzięto pod uwagę we wstępnym wyliczeniu opłacalności alternatywę do dogrzewania jedynie energią elektryczną (kable grzejne) w postaci urządzenia wykorzystującego energię odnawialną (ciepła z gruntu) tj. pompę ciepła (średni całoroczny współczynnik dla c.o. i c.w.u. założono COP=3,0). Przy założonym stałym koszcie 1 kWh wynoszącym 0,25 gr. w całym okresie zwrotu, i przy przyjętej różnicy w kosztach inwestycyjnych równych ok. 25 000 zł

(uwzględniając koszty inwestycyjne wraz z dolnym i górnym źródłem ciepła), nawet przy wyłożonym własnym kapitale jako alternatywę wskazując lokatę 4%, inwestycja nie zwróciłaby się (ujemna wartość wskaźnika kryterium dynamicznego NPV). Należy w tym miejscu wspomnieć, że nie były brane pod uwagę koszty eksploatacyjne i przeglądy, oraz żywotność i możliwości awarii takiego urządzenia. Należy dodać też, że praktycznie nie jesteśmy w stanie zakupić całego systemu grzewczego z pompą ciepła (PCi) za cenę o ok. 25 000 zł większą niż system alternatywny (wzięto tu pod uwagę system dogrzewania kablami grzewczymi i zasobnik c.w.u. pracujący w taryfie G12). Dla rozpatrywanego przykładowego domu pasywnego w roku 2008 wyceny wynosiły ok. 40 000-50 000 zł. za samą PCi z dolnym źródłem ciepła bez górnego odbiornika. Tak więc inwestycja w PCi w domu pasywnym byłaby inwestycją mocno nieuzasadnioną. Obecnie ceny niewiele się różnią w od tych z roku 2008. Podobnie wyglądałaby sytuacja z kolektorami słonecznymi dla potrzeb samej c.w.u.. Również nie zwróciłyby się przy ich różnicy w koszcie inwestycyjnym wynoszącym ok. 6 000 zł., średniej sprawności rocznej wynoszącej 65%, zakładając zużycie c.w.u. 98 dm³/dobę i alternatywę w postaci lokaty o oprocentowaniu 4%. Dodatkowe założenie zwiększenia się cen energii elektrycznej o 4% rocznie, zgodnie z GUS [2009], dałoby zwrot pompy ciepła przy powyższych pozostałych założeniach po 45 latach (dodatni wskaźnik NPV), a w przypadku kolektorów słonecznych po 22 latach, wciąż nie biorąc pod uwagę kosztów eksploatacyjnych i przeglądów, a więc również byłyby to inwestycje zdecydowanie nie opłacalne. Za stosowaniem powyższych urządzeń, może przemawiać jedynie szansa uzyskania zewnętrznego wsparcia finansowego, w postaci dotacji, która mogłaby znacznie obniżyć koszty ale czy na tyle, że mogłoby się to stać opłacalne? Wszystko zależy od wysokości dotacji, i w przypadku pompy ciepła dotacja musiałaby wynosić ok. 70% aby zwrot nastąpił po 12 latach, natomiast w przypadku kolektorów słonecznych ok. 50% aby zwrot nastąpił po 11 latach (w obu przypadkach brano pod uwagę wzrost cen nośnika energii). Reasumując, koszty firmy budowlanej wykorzystywanej do budowy domu pasywnego oraz koszty inwestycyjne nowoczesnych gotowych urządzeń wykorzystujących energie odnawialne, przekroczyłyby w przypadku rozpatrywanego domu pasywnego znacznie budżet i nie przyniosłyby w przyszłości korzyści finansowych.

Jedynym rozwiązaniem, spośród urządzeń wykorzystujących energie odnawialne, jakie zdecydowano się zastosować, było urządzenie do celów grzewczych tj. biokominek, wykorzystujący jako źródło ciepła energię odnawialną jaką jest biopaliwo (bioetanol). Bardzo wygodne paliwo nie związane z żadnymi dodatkowymi kosztownymi instalacjami niezbędnymi do jego wykorzystywania (kotłownia, kominy itp.), a w zupełności wystarczającym na potrzeby domu pasywnego. Koszt inwestycyjny biokominka był wręcz pomijalny jak już

wyżej podano (160 zł), stanowiący niecały 1% kosztów budowy rozpatrywanego domu.

Ponadto inwestor (autor pracy) uznał, że należy inwestować w energię elektryczną, jako najwygodniejsze źródło energii, dlatego też z myślą o przyszłości zdecydowano się umieścić dodatkowo kable grzejne w posadzce, stanowiące niedrogie (ok. 1% kosztów całego domu) dodatkowe źródło ciepła oprócz biominka.

Zastosowane rozwiązania techniczne domu pasywnego

Dla przykładowego domu pasywnego obliczenia sezonowego zapotrzebowania na ciepło wykonano przed rozpoczęciem budowy w roku 2007 według normy PN-B-02025:2001 (obecnie stosuje się normę PN-EN ISO 13790:2009), wykorzystując również normy i przepisy PN-EN ISO 6946, PN-EN 12831, PN-EN ISO 13370, PN-EN ISO 14683, PN-82/B-02403, Rozporządzenie MI z dnia 6 listopada 2008 r. Dodatkowo przyjęto do obliczeń zewnętrzne współczynniki dla mostków termicznych – ψ_e . Obliczenia wykazały wskaźnik równy $E_A=15$ kWh/m²·rok, przy założeniach:

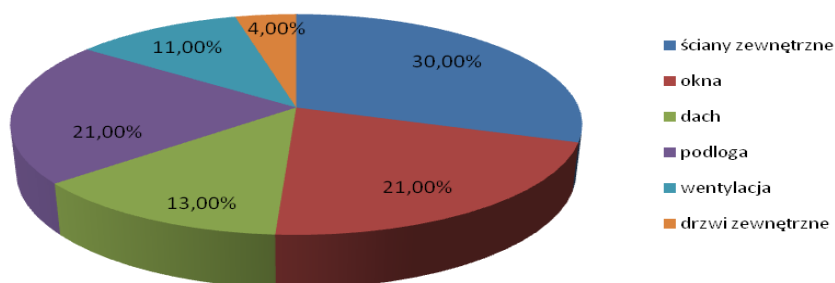
- brak podpiwniczenia
- budynek parterowy o powierzchni o regulowanej temperaturze :108,3 m²
- temperatury wewnętrzne w pomieszczeniach stałego przebywania równe 20°C
- poddasze nieużytkowe z ocieplanym stropem
- brak kominów wentylacyjnych oraz spalinowego
- budynek podzielony na dwie części: nocną od strony północno-zachodniej i dzienną od strony południowo-wschodniej z największą ilością okien od strony południowo-wschodniej (90%)
- ściany ze zwykłego betonu komórkowego
- drzwi zewnętrzne o współczynniku przenikania równym 1,3 W/m²·K
- okna typu Passivhaus z certyfikatem o współczynniku przenikania równym 0,8 W/m²·K i przepuszczalności energii słonecznej 0,64
- ocieplenie ścian – 30 cm styropianu o współczynniku przewodzenia ciepła równym 0,031 W/m·K, klejonego na piankę montażową do tego celu przeznaczoną
- ocieplenie cokołu do wysokości ok. 30 cm nad poziom terenu – 36 cm styropianu o obniżonej chłonności wody i o współczynniku przewodzenia ciepła równym 0,035 W/m·K
- ocieplenie podłogi na gruncie częścią nocną – 36 cm styropianem o obniżonej chłonności wody i o współczynniku przewodzenia ciepła równym 0,035 W/m·K
- ocieplenie podłogi na gruncie pod częścią dzienną – 24 cm styropianem

- o obniżonej chłonności wody i o współczynniku przewodzenia ciepła równym $0,035 \text{ W/m}\cdot\text{K}$
- ocieplenie ścian fundamentowych – 12 cm styropianem o obniżonej chłonności wody i o współczynniku przewodzenia ciepła równym $0,035 \text{ W/m}\cdot\text{K}$
 - ocieplenie stropu – od 65-70 cm, miejscami ok. 1,0 m wełną mineralną o średnim współczynniku przewodzenia ciepła równym $0,039 \text{ W/m}\cdot\text{K}$
 - żwirowy gruntowy wymiennik ciepła o objętości ok. 35 m^3 pod częścią nocną budynku oraz wstępny żwirowy gruntowy wymiennik ciepła poza budynkiem podnoszący temperaturę powietrza wchodzącego do głównego wymiennika ciepła
 - centrala wentylacyjna z odzyskiem ciepła o sprawności wraz z gruntowym wymiennikiem ciepła równej 75-80% (dla warunków obliczeniowych) i możliwą wymianą w zakresie 0,3-2,0 l/h,
 - założona wymiana powietrza przez system wentylacyjny przez 24 h/d równa 0,3 l/h (zalecane 0,3-0,7 l/h), z możliwym zwiększeniem do 2,0 l/h, aczkolwiek w przypadku domów pasywnych, w związku z wyższymi temperaturami przegród z powodzeniem można stosować wymiany nawet mniejsze niż zalecane bez negatywnych tego skutków i utrzymujące poziom wilgotności w zakresie optymalnym tj. 45-65%
 - wybór taryfy G12
 - elektryczny pojemnościowy podgrzewacz wody z programatorem tygodniowym
 - dogrzewanie biokominkiem oraz możliwość dogrzewania akumulacyjnego elektrycznym kablami grzejnymi
 - zminimalizowanie mostków termicznych czyli zmniejszenie liniowego współczynnika przenikania ciepła
 - połączenie izolacji ścian z izolacją podłogi na gruncie – 12 cm szkła piankowego o współczynniku przewodzenia ciepła równym $0,046 \text{ W/m}\cdot\text{K}$, wmurowanego w ścianie fundamentową
 - montaż okien, fix'u i okna tarasowego w warstwie ocieplenia z najściem izolacji na ramy okienne ok. 3-5 cm, podobnie przy wykonaniu parapetu (niestandardowe wykonanie na ramę okna) wraz z uszczelnieniem potrójnym taśmami paro przepuszczalną od zewnątrz i paroszczelnymi od wewnątrz oraz izolacją z pianki montażowej między ramą a ścianą
 - połączenie izolacji ścian z izolacją stropu – 10 cm wytrzymałego na ekstremalne obciążenia styropianu XPS, o obniżonej chłonności wody i o bardzo niskim współczynniku przewodzenia ciepła równym $0,031 \text{ W/m}\cdot\text{K}$, wmurowanego w ścianę szczytową między bloczki z betonu komórkowego o gęstości 400 kg/m^3 (BK400) charakteryzujące się również obniżonym współczynnikiem przewodzenia ciepła równym $0,11 \text{ W/m}\cdot\text{K}$
 - mimo braku wymogu kołkowania płyt styropianowych dla wysokości

mojego domu i klejonych przy pomocy pianki montażowej specjalnie do tego celu przeznaczonej zdecydowałem się jednak kołkować. Powodem tego była duża grubość płyt – 30 cm. Wybrałem kolki tworzywowe dodatkowo wpuszczane w styropian przy pomocy urządzenia własnej konstrukcji i otworami zaślepianymi korkami styropianowymi również wg własnego wykonania.

Uzyskane parametry obliczeniowe dla rozpatrywanego w niniejszej pracy domu pasywnego wraz z pokazanym na rys. 3 rozkładem procentowym strat ciepła (zgodnie z obliczeniami projektowymi z wykorzystaniem przepisów budowlanych [PN-B-02025:2001, PN-EN ISO 6946, PN-EN 12831, PN-EN ISO 13370, PN-EN ISO 14683, PN-82/B-02403, Rozporządzenie Min. Infr. z dnia 6 listopada 2008 r]) wyglądają następująco:

- współczynniki przenikania z uwzględnieniem wpływu wszystkich mostków termicznych:
- ściany: $0,11 \text{ W/m}^2 \cdot \text{K}$
- strop: $0,06 \text{ W/m}^2 \cdot \text{K}$
- podłoga na gruncie (uśredniona): $0,11 \text{ W/m}^2 \cdot \text{K}$
- całego okna: $0,8 \text{ W/m}^2 \cdot \text{K}$
- drzwi: zewnętrzne $1,2 \text{ W/m}^2 \cdot \text{K}$
- sprawność całkowita odzysku ciepła: $\geq 75\%$ przy poborze energii elektrycznej równym $0,15 \text{ Wh/m}^3$
- roczne zapotrzebowanie na energię do celów grzewczych E_A : $15 \text{ kWh/m}^2 \cdot \text{rok}$
- maksymalne zapotrzebowanie na moc do ogrzewania: $6,4 \text{ W/m}^2$



Rys. 3. Podział strat ciepła w rozpatrywanym domu pasywnym
Fig. 3. The distribution of heat losses in the present passive house

Budowa domu pasywnego i różnica w kosztach inwestycyjnych w stosunku do alternatywnego domu tradycyjnego

Analizowany dom został wybudowany dokładnie wg postawionych założeń projektowych. Oczywiście pojawia się pytanie na ile opłacalnym jest budowa takiego domu własnym nakładem sił w stosunku do domu o standardowych rozwiązaniach? Poniżej pokazano różnice w poszczególnych rozwiązaniach dla rozpatrywanego domu pasywnego i domu, który zostałby wybudowany alternatywnie zgodnego z wymogami Rozporządzenia Ministra Infrastruktury z dnia 12 kwietnia 2002 r. w sprawie warunków technicznych, jakim powinny odpowiadać budynki i ich usytuowanie [Rozporządzenie Min. Infr. z dnia 12 kwietnia 2002 r.]. Różnic w kosztach w robociznie w powyższych elementach nie uwzględniono, gdyż roboty wymienione wyżej wykonywane były przez autora pracy z pomocą jednej lub dwóch osób i byłyby również w taki sposób wykonywane w domu budowanym tradycyjnie. Podobnie wyglądało to w przypadku samego projektu, który również został wykonany przez autora niniejszej pracy. Po podliczeniu powyższych różnic w cenach materiałowych, budowa rozpatrywanego domu pasywnego kosztowała o 25 000 zł więcej niż kosztowałaby budowa alternatywnego domu tradycyjnego, zasilanego w energię gazową. Różnice w kosztach eksploatacji w pierwszym roku wyniosłyby 1 801,23 zł, uwzględniając:

- roczny wzrost kosztów nośników energii (elektrycznej i gazowej) o 4% [GUS 2009]
- koszt 1 kWh energii z gazu od dostawcy EWE w pierwszym roku (wliczając sprawność kotła, systemu grzewczego i pozostałe współczynniki korygujące) – 0,22 gr.
- koszt 1 kWh energii elektrycznej w pierwszym roku w taryfie G12 (nocna) – 0,25 gr.
- koszt 1 kWh energii elektrycznej w pierwszym roku w taryfie G12 (średnia z dzienna+ nocna) dla celów przygotowania posiłków i działania wentylacji mechanicznej – 0,44 gr.
- 1638 kWh/rok na cele przygotowania c.w.u. (98 l/d)
- 1623,7 kWh/rok na cele ogrzewania dla domu pasywnego
- 10830 kWh/rok na cele ogrzewania dla alternatywnego domu normatywnego (przyjęto wskaźnik 100 kWh/m²·rok)
- stały koszt corocznego przeglądu ewentualnego kotła gazowego – 100 zł,
- stały koszt coroczny kosztów eksploatacyjnych za pracę centrali wentylacyjnej w sezonie grzewczym – 30 zł,

Tab. 2. Różnice w przyjętych rozwiązaniach pomiędzy domem pasywnym a domem alternatywnym wg wymogów [Rozporządzenie Min. Infr. z dnia 12 kwietnia 2002 r.].
 Tab. 2. Differences between the solutions adopted in the passive house and an alternative house according to requirements [Regulation of Min. of Infr. 12 April 2002]

Wykonane elementy	Dom pasywny	Koszt [zł]	Dom spełniający wymogi przepisów	Koszt [zł]
szkło piankowe	12 cm	8 500	błoczki betonowe	300
styropian na gruncie	24 cm i 36 cm (EPS200 P AQUA; $\lambda=0,035$ W/m·K)	11 500	8 cm (EPS100; $\lambda=0,04$ W/m·K)	2 000
styropian na ścianach	30 cm (EPS50; $\lambda=0,031$ W/m·K)	9 000	12 cm (EPS50; $\lambda=0,04$ W/m·K)	3 000
wełna na stropie	60 cm- 100 cm ($\lambda=0,04$ W/m·K)	13 500	25 cm ($\lambda=0,04$ W/m·K)	4 500
XPS i BK400 w ścianie szczytowej	10 cm XPS i 48 cm BK400	1 300	błoczki z betonu komórkowego	1 000
Wentylacja	mechaniczna z odzyskiem ciepła i GWC zwirowym	11 800	grawitacyjna	2 000
system grzewczy c.o. i c.w.u.	biokominek i dogrzewanie elektryczne akumulacyjne podłogowe	4 200	tradycyjne podłogowe, kocioł kondensacyjny wraz z doprowadzeniem gazu do budynku	25 000
Okna	trzyszybowe typu passiv- haus ($u=0,8$ W/m ² ·K)	11 000	dwuszybowe ($u=1,4$ W/m ² ·K)	8 000
SUMA		70 800		45 800

Biorąc pod uwagę zaciągnięty kredyt na 30 lat o oprocentowaniu (na dzień dzisiejszy) 5,1% zwrot inwestycji nastąpiłby po 15 latach ($NPV_{15}=26\,423,42$ zł). Należałoby również w tym momencie odnieść przedstawione wyżej koszty do cen innych domów pasywnych, które są droższe od standardowych o ok. 36% [Lipiński 2009]. Przy całkowitym koszcie rozpatrywanego w niniejszej pracy domu pasywnego wynoszącego 270 000 zł, po odjęciu kosztów wyżej podanych materiałów dla przyjętych rozwiązań technicznych (tab. 2), okazuje się on droższy od domu, który zostałby wybudowany alternatywnie (za 245 000 zł) również przy użyciu sił własnych o ok. 10% i takie zwiększenie kosztów wydaje się być rozsądnym jeśli analizujemy opłacalność takiej inwestycji. Daje to koszt po przeliczeniu na 1 m² ok. 2500 zł/m². Interesującym jest to, iż oszczędności za robocizną przy wykonaniu prac własnymi siłami są w przybli-

zeniu równe nakładom poniesionym na dodatkowe rozwiązania techniczne stanowiące o pasywności budynku. Oznaczałoby to, że własnoręczne wykonanie domu pasywnego w stosunku do domu standardowego budowanego przez firmy budowlane nie różniłoby się kosztami inwestycyjnymi. Po dodaniu do kosztów materiałów dla przyjętych rozwiązań technicznych (tab. 2), ceny źródła ciepła wykorzystującego energię odnawialną jak np. gruntowe pompy ciepła, kolektory słoneczne i zastosowaniu gotowych elementów przy budowie domu takich jak np.: specjalne kołki mocujące do styropianu, specjalne taśmy uszczelniające do okien itp., firmowy rurowy gruntowy wymiennik ciepła, i wiele innych elementów opisanych jako odpowiednie do domów pasywnych, całkowity koszt rozpatrywanego domu pasywnego wzrósłby z 270 000 zł do ok. 360 000 zł (dodając koszt podanych wyżej specjalnych elementów, kolektorów słonecznych i pompy ciepła równy ok. 40 000 zł i różnicę w koszcie za robociznę równą ok. 50 000 zł). Powyższe dodanie kosztów pozwala na porównanie kosztów budowy alternatywnego domu standardowego z wykorzystaniem firmy budowlanej do kosztów budowy rozpatrywanego domu pasywnego również z wykorzystaniem firmy budowlanej. Dałoby to wzrost kosztów budowy rozpatrywanego domu pasywnego o ok. 33%, co potwierdzałoby wzrost kosztów inwestycyjnych przy budowie domu pasywnego o ok. 36% [Lipiński 2009]. Po przeliczeniu na 1 m² dla domu pasywnego [Lipiński 2009] koszt wynosiłby ok. 3500 zł/m², natomiast dla rozpatrywanego w niniejszej pracy domu pasywnego przekalkulowanego dla celów porównawczych z domem [Lipiński 2009] ok. 3300 zł/m². Powyższe również potwierdza szacowany większy koszt budowy domu pasywnego względem standardowego. Wzrost ten jest na tyle znaczny (ok. 36%), że opłacalność domu pasywnego jest mocno wątpliwa, a nawet jest to inwestycja nieopłacalna. Wybudowanie natomiast domu pasywnego w sposób przedstawiony w niniejszej pracy jest zdecydowanie korzystniejsze i opłacalne, jednak niesie za sobą wiele utrudnień i wyrzeczeń.

Przewidywane obliczeniowe sezonowe zużycie energii

Jak podano powyżej dla rozpatrywanego domu jednorodzinnego pasywnego, wyliczone sezonowe obliczeniowe zapotrzebowanie na ciepło wynosi 1623,7 kWh, co daje wskaźnik sezonowego zapotrzebowania na ciepło do ogrzewania budynku – $E_A = 15 \text{ kWh/m}^2 \cdot \text{rok}$ i określa budynek jako pasywny i obliczenia te były wykonane przed rozpoczęciem budowy w roku 2007, stąd bazowały na powyższej normie [PN-B-02025:2001]. Obecnie stosuje się normę [PN-EN ISO 13790:2009].

Należy nadmienić, iż jest to wynik dla domu w stanie suchym, a więc niekoniecznie wiarygodny dla pierwszego sezonu grzewczego, który zazwyczaj jest najbardziej niekorzystnym pod względem zużycia energii cieplnej.

Ponadto w związku z tym, że dom zaprojektowano według PN-B-02025:2001, uwzględniającej średnie temperatury zewnętrzne i radiację całkowitą (promieniowanie słoneczne) z wielolecia oraz, że zima 2009/2010 charakteryzowała się temperaturami i promieniowaniem słonecznym niższymi [Lubuska Sieć Monitoringu] niż te przyjęte według PN-B-02025:2001, obliczenia po obserwacji podczas eksploatacji domu zweryfikowano do rzeczywistych warunków temperaturowych wewnętrznych i zewnętrznych wraz z rzeczywistym promieniowaniem słonecznym i wyniki podano w dalszej części pracy.

Prowadzenie obserwacji podczas eksploatacji domu

Obserwacje przeprowadzono w pierwszym sezonie grzewczym 2009/2010. Obejmowały one badanie temperatur: obok budynku na głębokości ok. 25 cm pod budynkiem przy ścianie fundamentowej, pod budynkiem 1 m od ściany fundamentowej, wewnątrz domu w każdym z pomieszczeń, nawiewu z centrali wentylacyjnej oraz wilgotność powietrza wewnątrz każdego z pomieszczeń. Obserwacje dotyczyły również średniego dobowego zużycia całej energii w domu. Jednak dla celów porównawczych niniejszej pracy wzięto pod uwagę jedynie średnią miesięczną temperaturę wewnątrz pomieszczeń, gruntu pod domem i średnią miesięczną temperaturę zewnętrzną oraz radiację całkowitą zgodnie z Lubuską Siecią Monitoringu. W dalszej części pracy odniesiono się także do dziennego zużycia całkowitej energii na pozostałe cele bytowe. Temperaturę wewnątrz pomieszczeń mierzono termometrami trzy razy dziennie (rano o godz. ok. 7.00, po południu o godz. ok. 15.00 i wieczorem o godz. ok. 22.00), pomiar podlegał weryfikacji rtęciowym termometrem wzorcowym.

Dla obliczenia rzeczywistych słonecznych zysków ciepła, rzeczywiste sumy miesięcznego całkowitego promieniowania słonecznego padającego na przegrody pionowe (90°) przeliczono jako stosunek sumy miesięcznego promieniowania słonecznego padającego na płaszczyznę poziomą (0°) z wielolecia odczytanych z PN-B-02025:2001 do rzeczywistej sumy pomierzonych wartości promieniowania słonecznego padających na płaszczyznę poziomą (0°) w rozpatrywanym sezonie grzewczym [Lubuska Sieć Monitoringu], a następnie uzyskany ze stosunku wynik procentowy, pomnożono przez sumy miesięcznego całkowitego promieniowania słonecznego padającego na przegrody pionowe (90°) z wielolecia, odczytane z PN-B-02025:2001.

Głównym systemem dogrzewającym jest biokominek, a dodatkowym źródłem kable elektryczne podłogowe, jednak dla bardzo dokładnego pomiaru zużycia energii w pierwszym sezonie grzewczym uruchamiano dogrzewanie praktycznie wyłącznie przy pomocy kabli grzejnych.

Rzeczywiste i obliczeniowe zużycie energii dostosowane do warunków rzeczywistych

Poniżej podano wyniki teoretyczne i rzeczywiste zużycia energii w domu mającym spełnić warunki budynku pasywnego. Wyniki dotyczą całego okresu grzewczego od 26.IX.2009 r. (czyli od początku sezonu grzewczego w woj. lubuskim) do 10.V.2010 r. [PN-B-02025:2001].

Dla przyjętych rzeczywistych warunków obliczeniowych z rozpatrywanego wyżej okresu ponownie wyliczono wskaźnik sezonowego zapotrzebowania na ciepło do ogrzewania budynku i wynosi on – $E_A=16,4 \text{ kWh/m}^2 \cdot \text{rok}$. Wskaźnik ten jest wyższy niż wymagane maksymalnie $15,0 \text{ kWh/m}^2 \cdot \text{rok}$, jednakże wynika to z bardziej niekorzystnych parametrów powietrza zewnętrznego minionej zimy.

Tab. 3. Zestawienia zużycia energii cieplnej z poszczególnych miesięcy sezonu grzewczego 2009/2010

Tab. 3. Comparisons of thermal energy consumption for each month of the heating season 2009/2010

Miesiąc	Średnia temp. wewn. [°C]	Średnia temp. zewn. [°C]	Średnia temp. gruntu pod domem [°C]	Zapotrzebowanie na ciepło wg obliczeń przepisów [kWh/m-c]	Rzeczywiste zużycie energii [kWh/m-c]
Wrzesień (26-30)	23,1	14,3	16,0	8,2	0,0
Październik	21,1	5,4	14,0	147,1	93,7
Listopad	20,7	4,9	12,5	161,8	165,3
Grudzień	20,2	-3,1	10,5	332,1	355,7
Styczeń	20,1	-8,3	8,2	481,5	615,2
Luty	19,9	-3,2	7,1	289,9	328,9
Marzec	20,0	1,7	8,1	206,9	207,5
Kwiecień	20,1	6,1	8,9	99,2	12,0
Maj (1-10)	20,9	8,5	10,9	34,4	0,0
SUMA [kWh/rok]	-	-	-	1761,2	1778,3
Wskaźnik roczny [kWh/m²·rok]	-	-	-	16,3	16,4

W całkowitym bilansie trzeba także uwzględnić średnie dzienne zużycie energii na pozostałe cele inne niż grzewcze (bytowe+ c.w.u.) stanowiące zyski ciepła. Rzeczywiste zużycie energii elektrycznej na te cele w rozpatrywanym

domu w sezonie grzewczym wynosiło średnio dobowo przez pierwsze sześć miesięcy 13,0 kWh, a następnie w ostatnich trzech miesiącach (marcu, kwietniu i maju) spadło średnio do 10,0 kWh.

Analiza porównawcza zużycia obliczeniowego ze zużyciem rzeczywistym

Obliczenia teoretyczne spełniły założenia domu pasywnego dla parametrów zgodnych z normą [PN-B-02025:2001], jednak jak wspomniano wyżej dla celów prawidłowego porównania zostały one zmodyfikowane do rzeczywistych temperatur zewnętrznych i wewnętrznych oraz rzeczywistego promieniowania słonecznego [Lubuska Sieć Monitoringu]. Ważnym jest to, iż wykorzystano rzeczywiste temperatury występujące pod budynkiem w trakcie trwania sezonu grzewczego i w związku z tym obliczenie strat ciepła do gruntu nie wymagało skomplikowanych obliczeń [PN-B-02025:2001, PN-EN ISO 6946].

Aby dom spełnił wymagania pasywnego, wskaźnik rzeczywistego zużycia musiałby maksymalnie wynosić tyle co wskaźnik obliczeniowy dostosowany do warunków rzeczywistych rozpatrywanego sezonu grzewczego tj. 16,3 kWh/m²·rok. Rzeczywista wartość wynosząca 16,4 kWh/m²·rok jest prawie równa dopuszczalnej. Należy wziąć pod uwagę fakt, iż analiza dotyczy pierwszego sezonu grzewczego, który po budowie domu charakteryzuje się bardzo często zwiększonym zapotrzebowaniem ciepła w związku z odparowaniem m. in. wilgoci technologicznej. Dodatkowo uwagę zwracają różnice zużycia całkowitego w niektórych miesiącach. W pierwszych tygodniach dom prawdopodobnie oddawał jeszcze zakumulowaną część energii otrzymanej pod koniec lata, tuż po ukończeniu jego budowy, stąd mniejsze zapotrzebowanie.

W związku z utrzymującą się wysoką wilgotnością 65-75% przez część grudnia, cały styczeń i przez część lutego dom był celowo przesuszany (wymiana powietrza ok. 0,7 1/h tj. 170 m³/h przez ok. 5 tygodni w ciągu dnia i ok. 1,5 1/h tj. 360 m³/h przez 1 tydzień przez prawie całą dobę), stąd dużo większe rzeczywiste zużycie energii o ok. 170 kWh, niż wynikało z obliczeń. Jednakże działanie to zmniejszyło w dalszym okresie użytkowania wilgotność, która utrzymywała się już w zakresie 45-65%, najczęściej osylując wokół 55%.

W kwietniu zużyte 12 kWh zostało dostarczone wyłącznie biokominkiem z biopaliwa (bioetanolu) przy przyjęciu 5,5 kWh z 1 dm³ biopaliwa (zużyto 2,2 dm³). Wartość ta w porównaniu z energią elektryczną może być obciążona ok 10% błędem wynikającym z przybliżonej wartości opałowej biopaliwa (bioetanolu), jednak założenie to nie ma istotnego znaczenia dla wyniku końcowego a tak znaczna różnica w zużyciu energii mogła wynikać z dodatkowego ogrzania poddasza nieużytkowego pokrytego blachodachówką przez promieniowanie słoneczne. Spowodować to mogło zmniejszenie strat ciepła przez stropodach.

Podobna sytuacja dotyczy miesiąca maja. Pozostałe miesiące mają zbliżone do siebie wartości zużycia energii, mimo że część energii w tych miesiącach w rzeczywistości została spożytkowana również na odparowanie części wilgoci technologicznej.

Jak wspomniano wyżej dobowe zużycie energii elektrycznej na cele inne niż grzewcze zostało zredukowane z 13 kWh na 10,0 kWh. Na początkową średnią miało wpływ indywidualnie, bardzo duże dzienne zużycie (kuchenka elektryczna) związane z kilkoma okolicznościami odbywającymi się w rozpatrywanym budynku jak święta Bożego Narodzenia i Nowy Rok w miesiącu grudniu oraz kilkudniowe spotkanie rodzinne pod koniec lutego. Okoliczności te bardzo znacząco wpłynęły na średnią 13 kWh. Natomiast zmniejszenie zużycia wynikało, oprócz braku występowania powyższych okoliczności, z bardziej energooszczędnego używania urządzeń, a także ich optymalnych ustawień, które mogły zostać dokonane po sześćcio miesięcznej obserwacji zużycia energii elektrycznej przez poszczególne urządzenia w powiązaniu z przyzwyczajeniami domowników.

Zużycie energii elektrycznej na cele inne niż grzewcze jest bardzo istotne, gdyż z niej wynika potrzebna na te cele energia pierwotna. Energia elektryczna charakteryzuje się współczynnikiem nakładu nieodnawialnej energii pierwotnej na wytworzenie i dostarczenie nośnika energii lub energii do budynku równym 3,0 [Rozporządzenie Min. Infr. z dnia 6 listopada 2008 r.] (wartość przyjmowana w przypadku braku znajomości szczegółowych podziałów i rodzajów źródeł energii biorących udział w faktycznym jej wytwarzaniu, a następnie dostarczeniu przez dostawcę).

W przypadku głównego źródła dogrzewającego – biokominka współczynnik ten wynosi 0,2 i ma niewielki wpływ w przypadku domu pasywnego na zwiększenie energii pierwotnej [Rozporządzenie Min. Infr. z dnia 6 listopada 2008 r.].

Wnioski

Wstępna koncepcja domu pasywnego obejmująca newralgiczne punkty jest podstawą do optymalnego projektu, a następnie do bezbłędnego wykonawstwa i związanych z tym kosztów inwestycyjnych i eksploatacyjnych. Analiza kosztów pozwala na korzystny dla nas wybór odpowiednich rozwiązań, które niekoniecznie muszą być drogie i „modne”, aby pomóc spełnić rygorystyczne wytyczne dla domu pasywnego. Wręcz przeciwnie, budowa domu pasywnego powinna wymuszać ograniczenia inwestycyjne kosztów związanych przede wszystkim z systemem grzewczym, co jest jak najbardziej możliwe do spełnienia przy tak małym zapotrzebowaniu na ciepło. Również należy dokładnie przeanalizować koszty zużycia ciepłej wody użytkowej, która niekoniecznie musi być przygotowywana przez drogie i „modne” urządzenia, aby móc speł-

niać standardy budynku pasywnego i przynosić w długotrwałym użytkowaniu korzyści finansowe.

Trzeba również zwrócić uwagę na mimo wszystko prostotę rozwiązań w rozpatrywanym domu skupiającą się głównie na ograniczeniu strat energii cieplnej bez stosowania dodatkowych, wspominanych wyżej urządzeń typu pompy ciepła, kolektory słoneczne, fotowoltaiki itp. Urządzenia te tak naprawdę nie zmniejszają zapotrzebowania na energię danego domu, powodują jedynie zmniejszenie energii pierwotnej, tj. energii potrzebnej na wytworzenie energii finalnej którą może być np. energia elektryczna.

Oplacalność budowy domu pasywnego nie jest tak oczywista jak jego niskie koszty eksploatacyjne. Można jednak stwierdzić, że w wykonaniu wg niniejszej pracy jest on przedsięwzięciem opłacalnym. Należy jednak to bardzo dokładnie przeanalizować w oparciu o wstępną koncepcję i przewidywane z nią koszty. Dokładna i trafna analiza, a następnie podjęcie odpowiednich decyzji może przynieść nam znaczne korzyści i potwierdzenie wyliczeń w rzeczywistych wynikach eksploatacyjnych.

W przypadku omawianego w niniejszej pracy budynku, wyniki te okazały się bardzo optymistyczne, gdyż biorąc pod uwagę, iż był to pierwszy sezon grzewczy i duża część energii została zużyta na przesuszenie budynku, mogą one świadczyć o tym, że dom spełnił wymagania maksymalnego wskaźnika E_A dla budynku pasywnego. W kolejnych sezonach grzewczych, po wysuszeniu budynku, rzeczywiste zużycie będzie jeszcze bardziej korzystne, tym bardziej, że dom wymaga jeszcze drobnych korekt i wykończeń, które wpłyną korzystnie na jego energooszczędność.

Dla domu pasywnego, oprócz wskaźnika zapotrzebowania na cele grzewcze dla warunków obliczeniowych wynoszącego maksymalnie $E_A = 15 \text{ kWh/m}^2 \cdot \text{rok}$, zużycie całkowitej energii pierwotnej powinno, wraz z uwzględnieniem wspomnianego wyżej wskaźnika grzewczego, wynosić maksymalnie $120 \text{ kWh/m}^2 \cdot \text{rok}$. Przy zużyciu energii elektrycznej przez cały rok w ciągu doby na poziomie maksymalnie $11,6 \text{ kWh}$, co daje $39,0 \text{ kWh/m}^2 \cdot \text{rok}$ ($11,6 \cdot 365 / 108,3$) otrzymujemy zapotrzebowanie na energię pierwotną równe $117,0 \text{ kWh/m}^2 \cdot \text{rok}$ ($39,0 \cdot 3,0$). Wraz z wykorzystaniem na cele grzewcze biokominka, dla którego zapotrzebowanie na energię pierwotną wynosi $3 \text{ kWh/m}^2 \cdot \text{rok}$ ($15,0 \cdot 0,2$), całkowite zużycie energii pierwotnej wynosiłoby maksymalnie $120 \text{ kWh/m}^2 \cdot \text{rok}$ ($117,0 + 3,0$). Biorąc pod uwagę ostatnie średnio dobowe zużycie energii elektrycznej w marcu, kwietniu i maju na poziomie $10,0 \text{ kWh}$ i przy założeniu utrzymania go przez cały rok, zapotrzebowanie na energię pierwotną będzie mniejsze niż wymagane. Istotnym jest również to, że w przypadku zmniejszenia współczynnika nakładu energii elektrycznej np. przez zakład energetyczny, dom może stać się budynkiem o znacznie niższym zużyciu energii pierwotnej niż $120 \text{ kWh/m}^2 \cdot \text{rok}$, bez jakichkolwiek zmian i dodatkowych kosztów inwestycyjnych poniesionych przez inwestora.

Ponadto należy zwrócić uwagę na to, iż tak małe zużycie energii wpływa korzystnie na środowisko chroniąc je przed degradacją spowodowaną m. in. wydobywaniem paliw nieodnawialnych.

Literatura

1. GIOVANARDI A., TROI A., SPARBER W., BAGGIO P.: *Dynamic simulation of a passive house in different locations in Italy*. PLEA 2008 – 25th International Conference on Passive and Low Energy Architecture, Dublin, 22nd - 24th October 2008
2. CHWIEDUK D.: *Charakterystyka systemów z długoterminowym magazynowaniem energii w gruncie*. Ciepłownictwo, Ogrzewnictwo, Wentylacja nr 1/1998
3. CHWIEDUK D.: *Kierunki rozwoju budownictwa niskoenergetycznego*. IV Konferencja Naukowo- Techniczna „problemy projektowania, realizacji i eksploatacji budynków o niskim zapotrzebowaniu na energię” – Energodom`98, str. 75-90, Kraków- Mogilany, 14 października 1998
4. CHWIEDUK D.: *Wybrane przykłady nowoczesnych rozwiązań stosowanych w budownictwie niskoenergetycznym*. Ciepłownictwo, Ogrzewnictwo, Wentylacja nr 7/1999
5. FEIST W.: *Forschungsprojekt passive Hauser*. Institut Wohnen und Umwelt, Darmstadt 1988
6. GŁÓWNY URZĄD STATYSTYCZNY: *Efektywność wykorzystania energii w latach 1997-2007*. Warszawa 2009
7. HUMM O.: *NiedrigEnergie Und PassiveHauser*. Okobuch Verlag, Staufen bei Freiburg 1998
8. JĘDRZEJEWSKA- ŚCIBAK T., SOWA J.: *Budynek zdrowy czy energooszczędny alternatywa czy kompromis*. IV Konferencja Naukowo- Techniczna „problemy projektowania, realizacji i eksploatacji budynków o niskim zapotrzebowaniu na energię”- Energodom`98, str. 167-174, Kraków- Mogilany, 14 października 1998
9. KLUGMANN- RADZIEMSKA E.: *Przyszłość fotowoltaiki- instalacje zintegrowane z budynkiem*. Czysta Energia, II/2007
10. LIPINSKI M.: *Certyfikowany dom pasywny*. Profiokno 1/2009
11. LISEK A. (Red.): *Odnawialne źródła energii w architekturze*. Politechnika Śląska, Gliwice 1995
12. *Lubuska Sieć Monitoringu Zanieczyszczeń Powietrza* prowadzona przez Wojewódzki Inspektorat Ochrony Środowiska w Zielonej Górze.
13. *Planning and Installing Photovoltaic Systems. A guide for installers, architects and engineers*. James & James 2005

14. PN-B-02025:2001: *Obliczanie sezonowego zapotrzebowania na ciepło do ogrzania budynków mieszkalnych i zamieszkania zbiorowego.*
15. PN-EN ISO 6946: *Komponenty budowlane i elementy budynku. Opór cieplny i współczynnik przenikania ciepła. Metoda obliczania.*
16. PN-EN 12831: *Instalacje ogrzewcze w budynkach. Metoda obliczania projektowego obciążenia cieplnego.*
17. PN-EN ISO 13370: *Właściwości cieplne budynków - Wymiana ciepła przez grunt - Metody obliczania.*
18. PN-EN ISO 13790:2009: *Energetyczne właściwości użytkowe budynków - Obliczanie zużycia energii na potrzeby ogrzewania i chłodzenia.*
19. PN-EN ISO 14683: *Mostki cieplne w budynkach - Liniowy współczynnik przenikania ciepła - Metody uproszczone i wartości orientacyjne.*
20. PN-82/B-02403: *Ogrzewnictwo. Temperatuty obliczeniowe zewnętrzne.*
21. *Rozporządzenia Ministra Infrastruktury z dnia 12 kwietnia 2002 r. w sprawie warunków technicznych, jakim powinny odpowiadać budynki i ich usytuowanie, maksymalny wskaźnik sezonowego zapotrzebowania na ciepło do ogrzewania budynku*
22. *Rozporządzenie Ministra Infrastruktury z dnia 6 listopada 2008 r. w sprawie metodologii obliczania charakterystyki energetycznej budynku i lokalu mieszkalnego lub części budynku stanowiącej samodzielną całość techniczno-użytkową oraz sposobu sporządzania i wzorów świadectw ich charakterystyki energetycznej.*
23. The 1st Nordic passive house conference. Passivhus Norden 2008 April 2 and 3 in Trondheim, Norway
24. The 2nd Nordic passive house conference. Passivhus Norden 2009 April 27-29 in Göteborg, Sweden
25. WNUK R.: *Dom Pasywny- standard nowoczesnego budownictwa. Czysta energia*, 3/2007
26. WNUK R.: *Budowa domu pasywnego w praktyce. Przewodnik Budowlany*, 2006
27. ŻURAWSKI J.: *Analiza opłacalności stosowania odnawialnych źródeł energii, efekt ekologiczny*, Dolnośląska Agencja Energii i Środowiska

CONSTRUCTION, COSTS AND OPERATION OF PASSIVE HOUSE

S u m m a r y

This paper describes the technical solution adopted in the example of passive house built in province Lubuskie, Zawada, Poland, owned by author of this paper and compared to alternative solutions in a traditional house. Also highlighted how important is to analyze the profitability of investments considered a passive house. Paper also shows the real energy use in the first passive house heating season.

Key words: passive house, a heat pump, solar collector, biofuel, bioethanol, energy efficiency, ecology, building passive house, energy-saving solutions, thermal bridges, renewable energy, real energy consumption

RÓŻA FRUZIŃSKA*

WŁAŚCIWOŚCI FIZYCZNO-CHEMICZNE GLEB TERENU PRZEMYSŁU METALOWEGO

Streszczenie

*Przeprowadzone badania właściwości fizyczno-chemicznych gleby (pozo-
stałość po prażeniu, pH-H₂O, pH-KCl, Hh, S, T, V, EC) z terenu przemy-
słowego wykazało istotne zmiany w odniesieniu do gleb naturalnej gene-
zy. Wyniki badań próbek odbiegały od typowych wartości dla gleb obsza-
rów miejskich. Zanieczyszczenie powierzchniowej warstwy gleby (0-20
cm) zostało wywołane prowadzoną na terenie zakładu działalnością
przemysłową oraz powierzchniową depozycją gruzu budowlanego oraz
żużlu.*

Słowa kluczowe: przemysł metalowy, gleba, zanieczyszczenia, domieszki
antropogeniczne

Wprowadzenie

Wieloczynnikowa, skumulowana degradacja środowiska występuje we wszystkich aglomeracjach przemysłowych i w rejonach, gdzie zlokalizowane są uciążliwe zakłady przemysłowe [Siuta, Kucharska 1997]. W Zielonej Górze, na przełomie wielecia, wiele zakładów przemysłowych powstawało, działało, po czym zostało zamkniętych lub zmieniono ich charakter. Jednak do dnia dzisiejszego funkcjonują zakłady o charakterze przemysłowym, które z racji realizowanej produkcji wpływają na stan środowiska gruntowego. Jednym z takich miejsc jest teren zakładu Zastal S.A.

Założenie fabryki – filii Dolnośląskich Zakładów Budowy Maszyn w Zgorzelcu (Niederschlesischen Maschinenbau Gessellschaft vormals Conrad Schmidt) datuje się na dzień 1 grudnia 1876. Fabrykę ulokowano na obrzeżach miasta. Fot. 1 pokazuje towarzyszące fabryce nieliczne zabudowania mieszkalne (od strony południowej oraz wschodniej) oraz tereny o niegdyś rolniczym przeznaczeniu na północ od zakładu.

* Uniwersytet Zielonogórski; Instytut Inżynierii Środowiska; Zakład Ochrony i Rekultywacji Gruntów

W powstałej fabryce produkowano konstrukcje stalowe, mosty, wagony. Przed wybuchem oraz w trakcie trwania II wojny światowej produkowano wagony-cysterny do przewozu paliwa, mosty, kadłuby łodzi podwodnych (U-bootów). Po 1924 r., przez krótki czas produkowano samochody i autobusy. Ponadto naprawiano tam sprzęt wojskowy oraz zajmowano się produkcją broni oraz amunicji [Eckert 1980].



Fot. 1. Lokalizacja fabryki na tle północnych rubieży XIX wiecznego miasta Grünberg in Schl. [ze zbiorów Muzeum Ziemi Lubuskiej]

Phot. 1. Location of the factory on background of the northern areas of the XIXth century in Grünberg Schl. [from the collections of Museum of Ziemia Lubuska]

Od ponad 130 lat zakład funkcjonuje i produkuje wagony oraz wykonuje konstrukcje metalowe. Kilkakrotnie zmieniano jego nazwę, profil produkcji pozostał jednak wciąż ten sam. Część obszaru dzierżawią podmioty nie związane z przemysłem metalowym, ale najstarsza część zakładu wciąż wykorzystywana jest w celach produkcyjnych. Z racji tak długotrwałego prowadzenia wyspecjalizowanej działalności istnieje prawdopodobieństwo negatywnego oddziaływania na środowisko przyrodnicze, w tym na środowisko gruntowo-wodne. Istotną kwestią jest lokalizacja zakładu wobec zabudowań mieszkalnych. Przez szereg lat funkcjonowania zakładu został on otoczony ze wszystkich stron zabudową tego rodzaju. Od północy, wschodu i zachodu badany teren otaczają tereny zabudowy mieszkaniowej, od domów jednorodzinnych przez domy wielorodzinne i wieżowce (os. Dolina Zielona na wschodzie). Istotną kwestią jest

fakt, że oprócz wpływu na tereny bezpośrednio zajęte przez zakład może on wpływać na degradację terenów otaczających.

Celem pracy było określenie czy i jak funkcjonowanie zakładu wpływa na podstawowe właściwości fizyczno-chemiczne gleb pokrywających teren przemysłowy zakładu Zastal S.A. w Zielonej Górze.

Czynniki degradacji industrioziemów

Przez wiele lat zaniedbywano działania chroniące środowisko oraz nie poświęcano należytej uwagi rekultywacji zdegradowanej powierzchni ziemi. Spowodowało to nasilenie procesów degradacji środowiska. Presja społeczna oraz międzynarodowa wymusiły podjęcie badań procesów i zjawisk degradacji na terenach przemysłowych oraz będących w zasięgu szkodliwego oddziaływania obiektów przemysłowych [Siuta, Żukowski 2008].

Na degradację terenów przemysłowych wpływa wiele różnych czynników. Są one mniej lub bardziej związane z produkcją, procesami przygotowawczymi, magazynowaniem materiałów produkcyjnych lub gotowych, przygotowanych do sprzedaży produktów.

Przeprowadzane analizy terenów przemysłowych wskazywały na wiele czynników prowadzących do degradacji terenów zarówno zajętych przez fabryki, jak również przyległych do tych obszarów [Siuta, Żukowski 2008]. Degradacja gleb może przejawiać się zniekształceniem budowy profilu glebowego, uszkodzeniem lub całkowitym zniszczeniem poziomu próchniczego, zmianą warunków powietrzno-wodnych. Równie istotnymi czynnikami wpływającymi na stan gleby są działania zmierzające do zmiany chemicznego składu gleb, przesunięcie równowagi kwasowo-zasadowej, zasolenie, zmiana warunków tlenowych określane metaboliczną intoksykacją czy mechaniczne zanieczyszczenia gleby (gruz z rozbieranych budynków, nawierzchni utwardzonych, opakowania, materiały ceramiczne różnego pochodzenia) [Siuta 1998].

Każdy wymieniony czynnik z osobna, jak i wszystkie razem wywierają ogromny wpływ na funkcjonowanie gleby. Zjawisko oddziaływania człowieka na glebę nazywa się antropopresją i łączy w sobie celowe, jak i niezamierzone czynności mające zazwyczaj negatywny wpływ na środowisko glebowe. Działalność przemysłowa jest jednym z tych rodzajów ludzkiej aktywności, który w sposób szczególnie zaburza delikatną równowagę gleby.

Silna antropopresja na badanym obszarze widoczna jest w odniesieniu do budowy profilu glebowego. Przejawia się to obecnością materiałów obcych jak żużel czy gruz w powierzchniowych warstwach gleby. Zmiany w profilu gleby prowadzą do przerwania połączeń strukturalnych między warstwami glebowymi oraz zerwanie połączeń tworzonych przez pory glebowe. Stanowi to utrudnienie lub całkowite uniemożliwienie pionowego przemieszczania się składni-

ków w glebie [Greinert 2000]. Zarówno gruz jak i żużel były wykorzystywane do wyrównywania terenu. Z wyników badań geologiczno-inżynierskich wynika, że na terenie fabryki stosowano gruz oraz żużel do niwelacji nawet do głębokości 2,0 m [Atlas Zielona Góra 1966-1977]. Wykorzystanie na terenie zakładu gruzu oraz żużlu wpływa na właściwości fizykochemiczne gleby.

Niektóre rodzaje zdeponowanych materiałów budowlanych posiadają właściwości obojętne dla środowiska z chemicznego punktu widzenia. Są to m.in.: ceramika i klinkier budowlany, płytki ceramiczne, porcelana i fajans sanitarny [Hupka i in.] Jednak gruz to także beton, cegła wapienno-piaskowa, tynk wapienno-cementowy, zaprawa murarska. Cegła wapienno-piaskowa o uziarnieniu $< 0,1$ mm powoduje zmianę odczynu do 9,5 natomiast o średnicy 0,5-1 mm $\text{pH}=8,5$, przy 5-8 mm $\text{pH}=7,5$. Istnieje zależność pomiędzy stopniem rozdrobnienia gruzu a szybkością i wielkością zmian odczynu. Układ z ziarnami 5-8 mm i większymi wykazuje wzrost zasadowości w większym czasie [Hupka i in. 2004]¹ Inaczej wygląda sytuacja, gdy deponowany w glebie gruz ma w swoim składzie materiały składające się z gipsu jak tynk gipsowy czy płyty gipsowo-kartonowe. Gips w kontakcie z wodą ulega rozkładowi, którego produktami są jony ujemne SO_4^{2-} . Powstałe jony siarczanowe powodują zakwaszenie środowiska.

Zdeponowany gruz oddziałuje na glebę nie tylko chemicznie. Gruz wykorzystany do niwelacji terenu jest poddany kruszeniu na większe lub mniejsze kawałki. Przez utworzone w ten sposób szczeliny zanieczyszczenia wraz z wodą opadową szybciej rozprzestrzeniają się w głąb profilu glebowego. Stwarza to niebezpieczeństwo dla czystości wód podziemnych, mogą przeniknąć do nich związki powstałe z degradacji gruzu oraz związki z osadów wytworzonych w wyniku działalności przemysłowej. Obecność w glebie gruzu wpływa na wielkość retencji wody. Domieszka jak gruz czy żużel nie ma zdolności zatrzymywania w swojej strukturze wody. Przyspiesza to przenikanie wody w głąb profilu i woda staje się niedostępna dla roślin. Ponadto gleby składowiskowe wykazują zazwyczaj nadmierne zagęszczenie w wyniku stosowania ciężkiego sprzętu budowlanego. Stanowi to utrudnienie dla swobodnego przepływu wody i gazów oraz dla korzenia się roślin.

Używany w celu niwelacji żużel zaburza właściwości gleb. Żużel jest materiałem odpadowym, zanieczyszczonym. Używanie go do wyrównywania terenu czy utwardzania dróg jest szybkim sposobem na zanieczyszczenie gleby. Deponowany na terenie zakładu Zastal żużel pochodził prawdopodobnie z lokalnej kotłowni opalanej lokalnie wydobywanym węglem brunatnym². Wody opadowe

¹ Wyniki uzyskane w wyniku aktualizacji wody przez rozdrobniony materiał budowlany kontaktowany z wodą przez 3 minuty w 10-procentowej zawiesinie wodnej [Hupka i in.2004].

² Do roku 1948 w podzielonogórskich miejscowościach wydobywano węgiel brunatny.

wyplukują z niego zanieczyszczenia i transportują w głąb profilu glebowego. Często żużel łączono z wapnem, stąd jego wpływ na właściwości gleb.

Zanieczyszczanie gleb ma związek z rodzajem produkcji terenu przemysłowego. W przypadku przemysłu metalowego mamy do czynienia z procesami spawania, malowania, suszenia, czyszczenia blach i profili, szlifowania i in. [Zwierzyńska, Kałymon 2000]. Zanieczyszczenia lotne opadające na powierzchnię ziemi mogą zmieniać jej właściwości fizykochemiczne. Głównymi zanieczyszczeniami, które osadzając się na powierzchni ziemi lub opadając razem z deszczem, mogący wpływać na właściwości gleb są: pył, dwutlenek siarki (ze spalania oleju opałowego), dwutlenek azotu i tlenek węgla (ze spalania oleju opałowego oraz płynnego gazu propan), aceton i toluen (z procesu mycia w kabinach lakierniczych), alkohol benzyłowy oraz alkohol butylowy, etylobenzen, ksilen, metyloizobutyloketon, mezytylen, octan butylu, propylobenzen, węglowodory alifatyczne oraz aromatyczne (z procesów malowania) [Zwierzyńska, Kałymon, 2002]. Wśród wymienionych związków znajdują się węglowodory aromatyczne (toluen, etylobenzen, ksilen, mezytylen, propylobenzen). Mają one wpływ na wszystkie cechy gleby m.in. podwyższając wartość pH [Greinert, Greinert za Sołncewa, Nikiforowa, 1999].

Tab. 1. Wyniki badań geologiczno-inżynierskich [Atlas Zielonej Góry 1969-1977]

Tab. 1. Results of geological and engineering researches [Atlas of Zielona Góra 1969-1977]

Nr próbek	Rodzaj podłoża i głębokość zalegania						Poziom wody
1	0,0-0,6	0,6-10,0	10,0-11,8	-	-	-	-
	Nasyp (piasek, kamienie, gruz)	Piasek średni	Pospółka	-	-	-	
2	0,0-0,6	0,6-8,0	Otwór suchy	0,0-0,5	0,5-4,0	4,0-8,0	Otwór suchy
	Nasyp (gruz)	Piasek średni z domieszką żwiru		Gleba	Piasek średni	Piasek średni	
3	0,0-2,0	2,0-2,2	2,2-2,6	2,6-6,2	6,2-9,0	9,0-12,0	17,7m
	b.d.	piasek	Żwir gruby	Piasek drobny	Żwir drobny	Żwir gruby	
4	0,0-1,3	1,3-1,9	1,9-5,0	5,0-12,0			Otwór suchy
	Nasyp	Piasek	Piasek	Gлина	.	.	

	(gruz)	drobny	średni	zwięzła			
5	0,0-1,3	1,3-1,9	1,9-5,0	5,0-12,0	-	-	Otwór suchy
	Nasyp (gruz)	Piasek drobny	Piasek średni	Gлина zwięzła z kamieniami	-	-	
6	0,0-1,0	1,0-1,5	1,5-8,0	-	-	-	Otwór suchy
	Nasyp (gruz)	Piasek drobny	Piasek średni	-	-	-	
8	0,0-0,3	0,3-8,0	-	-	-	-	Otwór suchy
	Gleba	Piasek drobny	-	-	-	-	
9	0,0-0,4	0,4-1,0	1,0-2,5	2,5-6,0	6,0-7,0	7,0-8,0	4,2m
	Nasyp (gleba)	Nasyp (gleba, żużel)	Nasyp (piasek średni)	Piasek średni z dom. żwiru	Piasek gliniasty	Lignit	

Metodyka badań

Metodykę pobierania próbek opracowano w oparciu o normę PN-ISO 10381-1:2008. Obszar badań podzielono na kwatery. Wybierano obszary nieutwardzone, zlokalizowane w miejscach, w pobliżu których odbywa się produkcja. Z każdej kwatery pobrano próbki indywidualne, które zmieszane dały jedną próbę reprezentatywną. Próbki indywidualne były pobierane w minimum 30 miejscach z każdej kwatery. Próbki pobierano z powierzchniowej warstwy gleby (0-20 cm). Z terenu badań pobrano łącznie 8 próbek zbiorczych. Rys. 1 przedstawia miejsca poboru próbek glebowych.

Następnie przystąpiono do przygotowania próbek powietrzno-suchych. Procedura przygotowania prób powietrzno-suchych została przeprowadzona w oparciu o normę PN-ISO 11464:1999. Próbki zbiorcze zostały wysuszone na powietrzu. Następnie usunięto z nich oraz zważono szkło, korzenie, mech, niewielkie patyki oraz resztki trawy. Próbki poddano kruszeniu w moździerzu. Następnie zostały one przesiane przez sito o średnicy oczek 2 mm.

Z tak przygotowanych próbek wydzielane były odpowiednie naważki, zależne od rodzaju wykonywanych analiz.

Badanie składu granulometrycznego wykonano metodą areometryczną według Pruszyńskiego, zgodnie z normą PN-ISO 11277:2005.

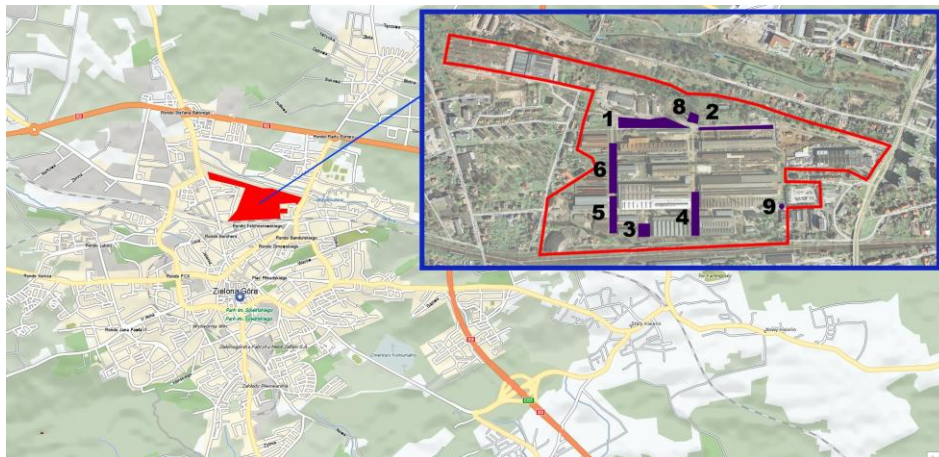
Straty na żarzeniu określono po spaleniu w piecu muflowym w 550°C do uzyskania powtarzalnych wyników ważenia próbek [Bednarek i in. 2005]

Oznaczanie pH wykonano zgodnie z normą PN-ISO 10390:1997, w wodzie i 1-molowym KCl.

Kwasowość hydrolityczną oraz sumę kationów o charakterze zasadowym w kompleksie sorpcyjnym oznaczono według metody Kappena [Mocek i in. 2006].

Pojemność sorpcyjną gleb oraz stopień wysycenia kompleksu glebowego zasadami obliczono na podstawie wyników kwasowości hydrolitycznej oraz sumy zasad w kompleksie sorpcyjnym [Mocek i in. 2006]

Przewodność elektryczną właściwą EC zbadano na podstawie normy PN-ISO 11265+AC 1:1997.



Rys. 1. Lokalizacja terenu badań na tle miasta Zielona Góra
[Fruzińska 2010 na bazie oprac. Zumi.pl]

Fig. 1. Location of study area on the background of Zielona Góra
[Fruzińska 2010 on the base of Zumi.pl elaboration]

Wyniki badań

W analizowanych próbkach glebowych stwierdzono obecność części szkieletowych. Procentowa zawartość części szkieletowych wynosi odpowiednio 16,07% dla próbki 3 (utwór żwirowaty); 31,38% dla próbki 4 – utwór mocno żwirowaty (wartość najwyższa); 20,35% – próbka 5 (utwór żwirowaty), 6,53% – próbka 8 – utwór słabo żwirowaty (wartość najniższa) oraz 22,23% – próbka 9 (utwór żwirowaty).

Na podstawie badań uziarnienia, określono gatunek materiału glebowego, zalegającego w powierzchniowej warstwie analizowanych idustrioziemów jako piasek oraz piasek słabogliniasty (próbka nr 9). Najliczniejszą frakcją granulometryczną jest piasek, jego zawartość dla analizowanych próbek waha się w przedziale 86-93%. Pozostałe frakcje: pył stanowił 7-14%, a il 0-3%. Próbkę

odznaczały się niewielkim zróżnicowaniem składu granulometrycznego w zależności od miejsca ich pobrania.

Tab. 1. Wyniki analizy granulometrycznej materiału glebowego z warstwy 0-20 cm p.p.t. (%)

Tab. 1. The results of granulometric analysis of soil material from the 0-20 cm below-ground level (%)

Numer próbki	Udział procentowy frakcji w mm (%)						Grupa i podgrupa granulometryczna
	2-0,1	0,1-0,05	0,05-0,02	0,02-0,006	0,006-0,002	<0,002	
1	.	.	.	.	.	.	.
2	.	.	.	.	.	.	.
3	86,00	6	2	5	1	0,00	piasek (p)
4	80,00	6	7	6	1	0,00	piasek(p)
5	84,00	5	6	4	1	0,00	piasek (p)
6	.	.	.	.	.	.	.
8	86,00	7	4	2	1	0,00	piasek (p)
9	83,00	4	4	2	1	3,00	piasek słaboglinisty (ps)

Tab. 2. Odczyn i właściwości sorpcyjne gleb z terenu zakładu przemysłu metalowego w Zielonej Górze w warstwie powierzchniowej (0-20 cm)

Tab. 2. Reaction and sorption properties of soil from the area of metal industry plant in Zielona Gora in the samples from surface layer (0-20 cm)

Numer próbki	Straty po prażeniu	pH-H ₂ O	pH-KCl	Hh	S	T	V	EC
	%							
				cmol·kg ⁻¹ s.m.			%	mS/cm
1	8,1	7,77	7,53	13,5	43,1	56,60	76,14	0,1178
2	.	8,04	7,87	7,50	46,1	53,60	86,00	0,1027
3	8,2	8,02	7,78	8,25	43,9	52,15	84,18	0,1056
4	15,8	7,72	7,29	19,12	35,4	54,52	64,93	0,1404
5	6,6	8,01	7,73	23,25	34,8	58,05	59,95	0,1108
6	5,0	8,16	8,00	10,5	45,0	55,50	81,08	0,1330
8	4,2	7,94	7,64	12,38	21,1	33,48	63,02	0,1235
9	2,5	8,82	8,50	5,62	44,3	49,92	88,74	0,1202

Stwierdzono procentowy ubytek masy na żarzeniu, wahający się w przedziale 2,5-15,8%. Przy tym zaobserwowano zróżnicowanie wyników w zależności od miejsca poboru próbki. Najniższą wartością 2,5% odznaczała się próbka 9 reprezentująca glebę zlokalizowaną w pobliżu starej bramy wjazdowej na teren zakładu, a najwyższą 15,8% na terenie jedej z suwnic (próbka 4).

Wartości odczynu były także zróżnicowane. Najwyższy odczyn, mierzony zarówno w wodzie, jak i KCl odnotowano dla próbki 9 (8,82 pH w H₂O i 8,50 pH w KCl), najniższy z kolei dla próbki 4 (7,72 pH w H₂O i 7,29 w KCl).

Kwasowość hydrolityczna oraz suma zasad wykazują zależność od zawartości ogólnej związków organicznych (dominująca część strat na żarzeniu) oraz odczynu. Właściwości sorpcyjne w analizowanym materiale wykazały rozrzut wartości w granicach:

- dla Hh: 5,62-23,25 cmol·kg⁻¹ s.m.
- dla S: 21,1-46,1 cmol·kg⁻¹ s.m.
- dla T: 33,48-58,05 cmol·kg⁻¹ s.m.
- dla V: 59,95-88,74%

Dyskusja wyników

Zawartość części szkieletowych na poziomie 6,53-31,38% wskazuje na przekształcenie gleb w wyniku prac budowlanych. Domieszanie materiałów obcych jest typowe dla terenów zurbanizowanych [Burghardt 1994]. Podobne wnioski na podstawie badań gleb miasta Essen sformułował Meusser [1996] oraz Greinert [2000, 2003]. Meuser stwierdził, że w około 70% wszystkich warstw i poziomów glebowych obecne są materiały technogenne z dominującym w składzie gruzem budowlanym.

W analizowanych próbkach glebowych odnotowano zróżnicowanie odczynu – w wodzie wahał się w zakresie 7,72-8,82, w 1-molowym KCl 7,29-8,50. Tym niemniej mieścił on się w kategorii utworów zasadowych (tab. 3).

Tab. 3. Podział gleb w zależności od pH [Mocek i in. 2006]

Tab. 3. Soil classification in dependance from pH value [Mocek i in. 2006]

Odczyn gleby	pH w 1-molowym KCl	pH w H ₂ O
Bardzo kwaśny	< 4,5	< 5,0
Kwaśny	4,5-5,5	5,0-6,0
Lekko kwaśny	5,5-6,5	6,0-6,7
Obojętny	6,5-7,2	6,7-7,4
Zasadowy	> 7,2	>7,4

Różnica pomiędzy wartościami odczynu w H₂O i 0,1-molowym KCl jest dla każdej próbki mniejsza od 0,5 jednostki pH. Wskazuje to na fakt braku wpływu jonów glinu Al³⁺ na odczyn. Na wysokie wartości mierzonego pH może mieć wpływ żużel deponowany powierzchniowo w celu niwelacji terenu oraz użyty w tym samym celu gruz budowlany [Hupka i in. 2004]. Domieszki rozdrobnionych materiałów budowlanych zmieniają właściwości fizyczno-chemiczne gleb. Nadają glebie alkaliczny odczyn, co jest spowodowane wysoką zawartością w gruzie budowlanym węgla wapnia CaCO₃ (17-34%) [Röber i in. 2000]. Podwyższenie odczynu przez obecność gruzu i żużlu jest szczególnie istotne

w przypadku gleb o składzie granulometrycznym piasków oraz piasków słabogliniastych [Greinert 2003].

Kwasowość hydrolityczna H_h określa silnie oraz słabo związane jony H^+ i Al^{3+} zaadsorbowane przez kompleks sorpcyjny gleb [Mocek 2006]. Kwasowość badanych próbek jest zróżnicowana, wynosi 5,62-23,25 $cmol \cdot kg^{-1}$ s.m. Typowe wartości kwasowości hydrolitycznej spotykane w naturalnych glebach Polski oscylują w granicach 1-3 $cmol \cdot kg^{-1}$ s.m. dla lekkich gleb ornyc, 1-5 $cmol \cdot kg^{-1}$ s.m. dla gleb leśnych oraz kilka-kilkanaście $cmol \cdot kg^{-1}$ s.m. dla gleb ciężkich [Greinert 1998]. Otrzymane wyniki odbiegają od tła glebowego dla piaszczystych utworów zalegających na zielonogórskich terenach poza bezpośrednią antropopresją [Greinert 2003]. Wskazuje to na daleko posunięte zmiany chemizmu gleb przemysłowych.

Suma kationów o charakterze zasadowym w kompleksie sorpcyjnym badanych próbek (wapń, magnez, potas, sód oraz w mniejszych ilościach metale oraz kation amonu [Greinert 1998] wynosiła 21,1-46,1 $cmol \cdot kg^{-1}$ s.m. Wyniki te należy uznać za wysokie dla materiału o lekkim składzie granulometrycznym. Jest to spowodowane obecnością w glebie domieszek antropogenicznych.

Pojemność sorpcyjna wobec kationów badanych próbek glebowych była zróżnicowana, wynosząc 33,48-58,05 $cmol(+) / kg$. Zbadana pojemność sorpcyjna próbek glebowych nie nawiązuje do naturalnych właściwości gleb piaszczystych. Jest to spowodowane silnym zanieczyszczeniem gleb (także materiałami o stosunkowo dużych zdolnościach sorpcyjnych – np. materiałami organicznymi) oraz zaburzeniami w składzie chemicznym analizowanych gleb.

Sorpcja, określana przez kwasowość hydrolityczną oraz sumę zasad wymienionych), zależy w głównej mierze od zawartości materii organicznej oraz mineralnej frakcji koloidalnej [Greinert 2003]. Zwiększenie procentowego udziału części szkieletowych w glebie, np. gruzu budowlanego, obniżają pojemność sorpcyjną wobec kationów. Zostało to udowodnione na podstawie badań gleb postindustrialnych Zagłębia Ruhry [Hiller, Meuser 1998]. Jak podaje Greinert [2003], zależność ta nie znajduje odzwierciedlenia w przypadku gleb piaszczystych o bardzo małej zawartości koloidów mineralnych. Badane próbki potwierdzają, że w przypadku małej zawartości koloidów mineralnych (w badanych próbkach zawartość koloidów mineralnych wynosi 0% dla próbek 3, 4, 5 i 8 oraz 3% dla próbki 9) obecność w glebie domieszek antropogenicznych jak gruz budowlany czy żużel poprawiają właściwości sorpcyjne.

Przewodność elektryczna jest skutecznym wskaźnikiem antropopresji. Na jej poziom może mieć wpływ stosowanie środków przeciwdziałających oblodzeniu dróg i chodników, deponowanie w glebie żużli oraz między innymi domieszanie do gleby materiałów odpadowych [Greinert 2003]. Obecność w glebie badanego obszaru materiałów odpadowych, żużlu i gruzu budowlanego wskazuje na możliwy wpływ tych materiałów na wartości przewodności elektrycznej badanych próbek. Wartość przewodności materiałów antropogenicznych pochodzenia bu-

dowlanego najczęściej wykazuje zasolenie poniżej $1,0 \text{ mS} \cdot \text{cm}^{-1}$ [Hiller, Meuser 1998]. Przewodność elektryczna badanych próbek wynosiła $0,1027\text{--}0,1404 \text{ mS} \cdot \text{cm}^{-1}$. Wyniki wskazują na brak nadmiernego zasolenia. Głównych przyczyn można upatrywać w dużej wodoprzepuszczalności materiałów zdeponowanych w powierzchniowej warstwie analizowanych gleb.

Wnioski

Uzyskane wyniki analiz laboratoryjnych wskazują na wieloczynnikowe przekształcenia gleb terenu przemysłowego. Objawia się to zmianą wszystkich analizowanych właściwości. Zaburzenie składu granulometrycznego gleb w kierunku wzrostu ich uszkieletowania stwarza inne warunki infiltracji wód. Przekłada się to na niestabilność chemizmu, czego efektem jest m.in. niski stopień zasolenia warstw powierzchniowych. Należy rozumieć ten fakt nie w kategoriach czystości gleb analizowanego obszaru, a raczej w krótkotrwałym utrzymywaniu zanieczyszczeń w warstwach powierzchniowych. Powinno znaleźć to odzwierciedlenie w zapisach odnoszących się do analiz ryzyka środowiskowego wskazywanego w pracy obszaru.

Literatura

1. BEDNAREK R., DZIADOWIEC H., POKOJSKA U., PRUSINKIEWICZ Z.: *Badania ekologiczno-gleboznawcze*. Wyd. PWN 2005
2. BURGHARDT W.: *Classification concept of substrates and soils from urban and industrial sites*. W. J. Van Den Brink, R. Bosmanandf. Arendt (Eds.). *Contaminated Soil* 1995, s. 187-188. Kluwer Academic Publishers 1995
3. *Dokumentacja geologiczno-inżynierska, Atlas Zielona Góra*. Wojewódzkie Archiwum w Zielonej Górze 1966-1977
4. ECKERT M.: *Zastal*. Wyd. Wyższa Szkoła Pedagogiczna 1980
5. GLIŃSKI J.: *Chemiczne i fizykochemiczne właściwości gleb*. 1995 [W:] KOWALIK P.: *Ochrona środowiska glebowego*. Wyd. PWN 2001, 47-52
6. GREINERT A.: *Studia nad glebami obszaru zurbanizowanego Zielonej Góry*. Wyd. Oficyna Wydawnicza Uniwersytetu Zielonogórskiego 2003
7. GREINERT A.: *Ochrona i rekultywacja terenów zurbanizowanych*. Wyd. Politechniki Zielonogórskiej 2000
8. GREINERT H., GREINERT A.: *Ochrona i rekultywacja środowiska glebowego*. Wyd. Politechniki Zielonogórskiej 1999
9. HILLER D.A., MEUSER H.: *Urbane Böden*. Springer Verlag 1998

10. HUPKA J., RZECUŁA J., SYLWESTRZAK D.: Gruz budowlany – wybrane właściwości i możliwości wykorzystania. *Recykling* 11/2004 (47), Poznań 2004
11. MEUSER H. (1996): Schadstoffpotential technogener Substrate in Boden urban0industrieller Verdichtungsräume. *Z. Pflanzenernähr. Bodenk.*, 159, s. 621-628, © Vch Verlagsgesellschaft MbH.
12. MOCEK A., DRZYMAŁA S., MASZNER P.: *Geneza, analiza i klasyfikacja gleb*. Wyd. Akademii Rolniczej im. Augusta Cieszkowskiego w Poznaniu 2006
13. SIUTA J.: *Rekultywacja gruntów*. Wyd. Instytut Ochrony Środowiska 1998
14. SIUTA J., KUCHARSKA A.: *Wieloczynnikowa degradacja ziemi w Polsce*. Instytut Ochrony Środowiska 1997
15. SIUTA J., B. ŻUKOWSKI B.: *Degradacja i rekultywacja powierzchni ziemi w Polsce*. Wyd. Instytut Ochrony Środowiska 2008
16. RÖBER R., BIBBY D., BURGHARDT W., BAHMANI M.: *Some features of the soil of old Constance*. First International Conference on Soil of Urban, Industrial, Traffic and Mining Areas, vol. 1, s.21-26, Universität-GH Essen 2000
17. ZIENKO J., KARAKULSKI K.: *Substancje ropopochodne w środowisku przyrodniczym. Metoda ocen i likwidacji skutków zanieczyszczeń*. Wyd. Politechnika Szczecińska 1997
18. ZWIERZYŃSKA D., KAŁYMON W.: *Operat ochrony powietrza dla Zastal Wagony S.A. w Zielonej Górze przy ul. Sulechowskiej 4a*. Zielona Góra 2002

PAPER TITLE IN ENGLISH

S u m m a r y

In the paper have been described the chosen physicochemical properties of soil: dry residues after incineration, pH in H₂O and KCl, hydrolytic acidity (Hh), base content (S), soil capacity of the exchangeable cations (T), base saturation (V), electric conductivity (EC). Soils from the industrial area showed abnormal results of analyzed properties, different from the typical values for urban soils. Impurities of the soils surface layer (0-20 cm) has been caused by industrial activity and rubble and slages deposition.

Key words: metal industry, soil pollution, anthropogenic waste.



**UNIWERSYTET ZIELONOGÓRSKI
INSTYTUT INŻYNIERII ŚRODOWISKA**

ZAPRASZA DO PODJĘCIA STUDIÓW

**NA KIERUNKU INŻYNIERIA ŚRODOWISKA
ZE SPECJALNOŚCIAMI: SYSTEMY OCHRONY ŚRODOWISKA,
URZĄDZENIA SANITARNE, ZAOPATRZENIE W WODĘ,
UNIESZKODLIWIANIE ŚCIEKÓW I ODPADÓW**

Studia pierwszego stopnia **inżynierskie** odbywają się w formie studiów stacjonarnych (3,5-letnie) i niestacjonarnych (4-letnie).

Studia drugiego stopnia **magisterskie** odbywają się w formie studiów stacjonarnych (1,5-roczone) i niestacjonarnych (2-letnie).

Studia trzeciego stopnia **doktoranckie** odbywają się w formie studiów stacjonarnych (4-letnie).

Informacje o kierunku i specjalnościach znajdziecie Państwo na stronie:

http://www.wils.uz.zgora.pl/oferta_dydaktyczna.html#dwa

Dziekanat WILiŚ (pok. 101 i 102, bud. A-8) czynny: wtorek, środa, czwartek, piątek - w godzinach 10-13, sobota (w czasie zjazdów WILiŚ): w godzinach 8-12, nieczynny – poniedziałek.

Informacje na temat rekrutacji:

<http://rekrutacja.uz.zgora.pl/index.php?akt>

Strona internetowa Wydziału Inżynierii Lądowej i Środowiska:

<http://www.wils.uz.zgora.pl/index.html>

Strona internetowa Instytutu Inżynierii Środowiska:

<http://www.iis.uz.zgora.pl/>



**UNIWERSYTET ZIELONOGÓRSKI
INSTYTUT INŻYNIERII ŚRODOWISKA**

**ZAPRASZA
DO WSPÓŁPRACY**

Oferujemy wykonanie:

- ocen oddziaływania na środowisko i raportów środowiskowych, na rzecz opracowań środowiskowych i planistycznych;
- opracowań ekofizjograficznych na inne cele niż wyżej podane;
- projektów koncepcyjnych i wykonawczych rekultywacji terenów zdegradowanych;
- dokumentacji geologiczno-inżynierskich;
- operatów wodno-prawnych;
- badań właściwości wód powierzchniowych i podziemnych, w tym przeznaczonych do spożycia;
- badań ścieków komunalnych i przemysłowych, osadów ściekowych i odpadów;
- badań gleb i gruntów wraz z podaniem zaleceń uprawowych i rekultywacyjnych.

